

Évaluation préliminaire du risque lié aux inondations : développement et application d'une méthodologie pour le territoire québécois

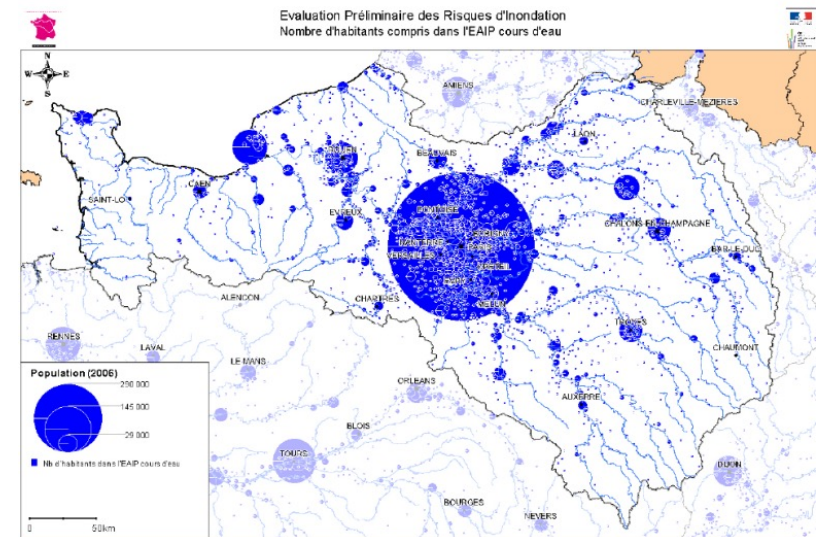
Pascale Biron, Thomas Buffin-Bélanger, Guénolé Choné, Véronique Benacchio,
Jean-Philippe Baril-Boyer



Les projets EPRI ont bénéficié du soutien financier du Cadre pour la prévention de sinistres (CPS) du MSP

Origine des projets EPRI

- EPRI : *Évaluation préliminaire du risque lié aux inondations*
- Directive européenne 2007/60/CE : EPRI renseigne sur les inondations du passé et sur le risque actuel:
 - Impact des inondations historiques au travers de quelques événements représentatifs;
 - Exposition actuelle des enjeux aux événements majeurs



EPRI en Europe

Pays	Périodes de retour de crue utilisées (années)
Angleterre	75, 200, 1000
Allemagne (Elbe)	10, 100, 200
Espagne	10, 100, 500
Suisse	50, 100, 250, 500
Irlande	10, 100 et 1000 ans
Wallonie	25, 50, 100 et « extrême »
Écosse	200
France	« extrême » (> 100 ans)
Norvège	500
Suède	50, 100, 200, 10 000
Finlande	20, 50, 100, 250, 1000

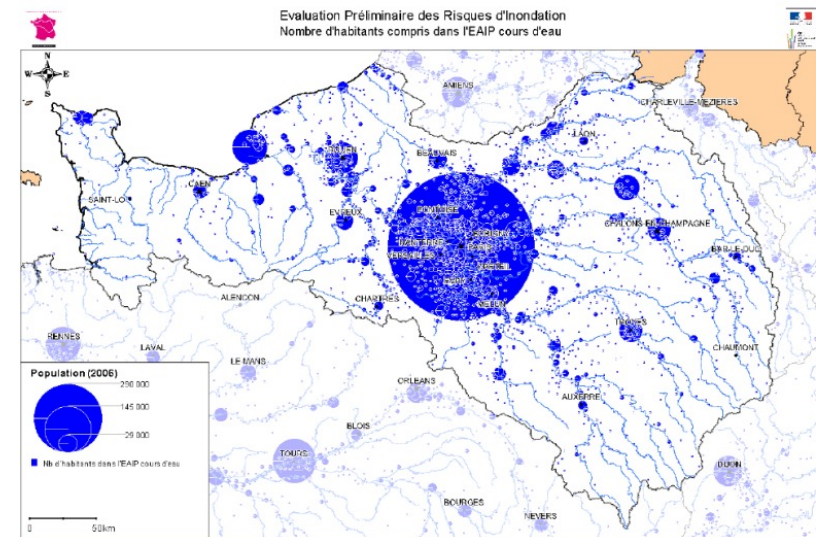
EPRI en Europe

	Débordement de cours d'eau	Crues torrentielles	Ruissellement	Remontée de nappe phréatique	Submersion marine
France	X	X			X
Allemagne (Elbe)	X				X
Espagne (Èbre) ¹	X	X	?	?	X
Angleterre	X		X	X	X
Écosse	X		X		X
Irlande	X		X	X	X
Wallonie	X		X		
Suisse	X				
Norvège	X	X			X
Suède	X		(X)		(X)
Finlande	X				X

Choné et al. (2017)

Origine des projets EPRI

- Principe : croisement d'une **cartographie de l'aléa** inondation avec **des enjeux** à l'échelle nationale
- Défi : produire une cartographie de l'aléa inondation à l'échelle nationale (**EAIP : enveloppe approchée de l'inondation potentielle**)
- Europe : approche distincte selon les pays allant de la modélisation hydraulique large-échelle (Angleterre) à des estimations simples de hauteur d'eau (Norvège)



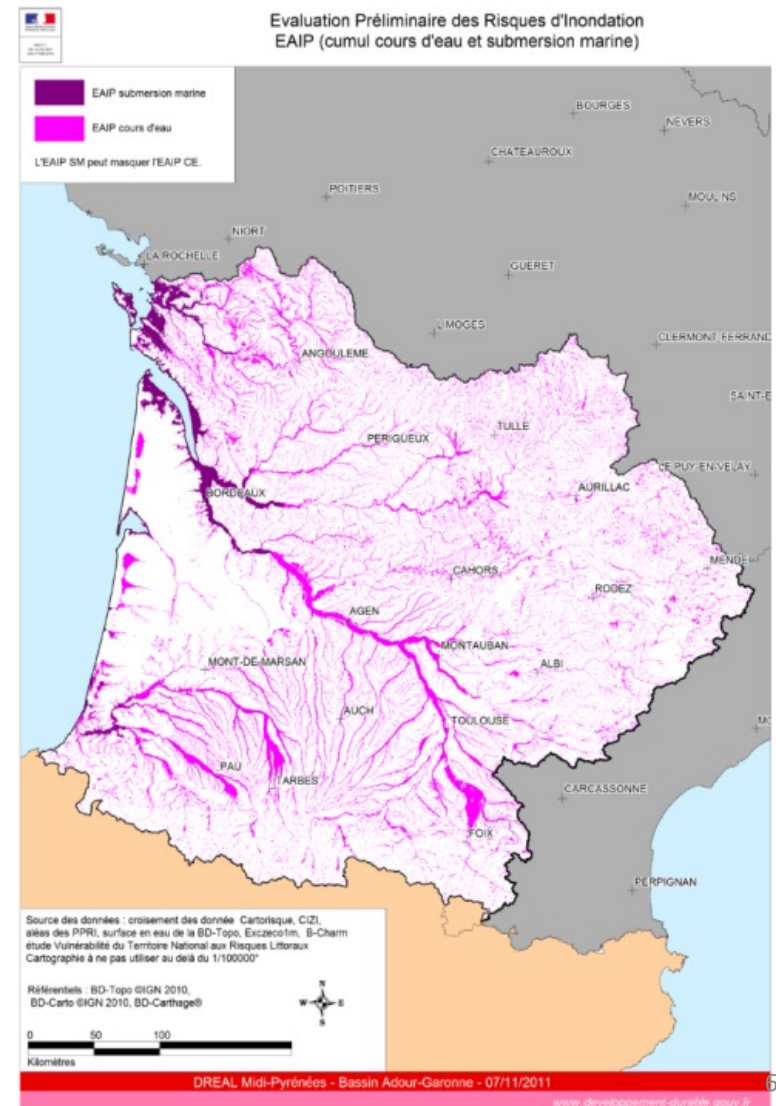
EPRI France

- Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP) basée sur analyse d'inondations historiques

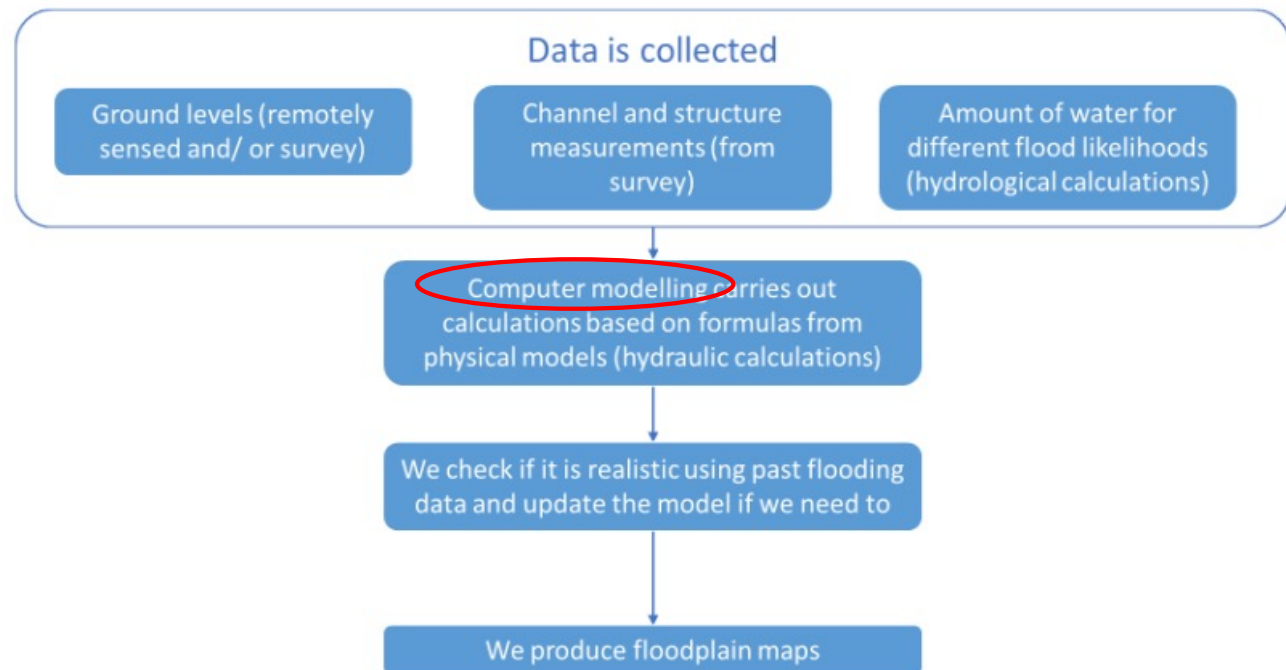


Figure 9 : Repère de crue (mairie de Warcq – 08)

http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/epri_meuse_maquettage_final_cle262217.pdf

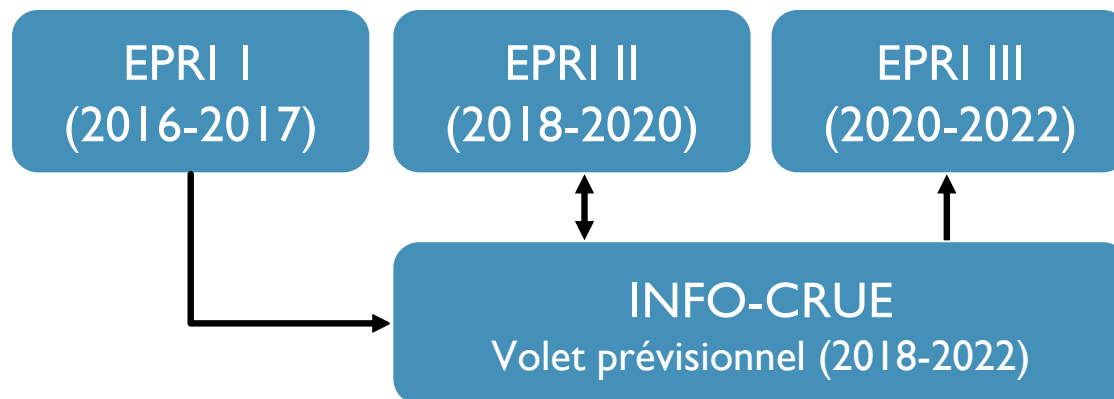


EPRI Angleterre



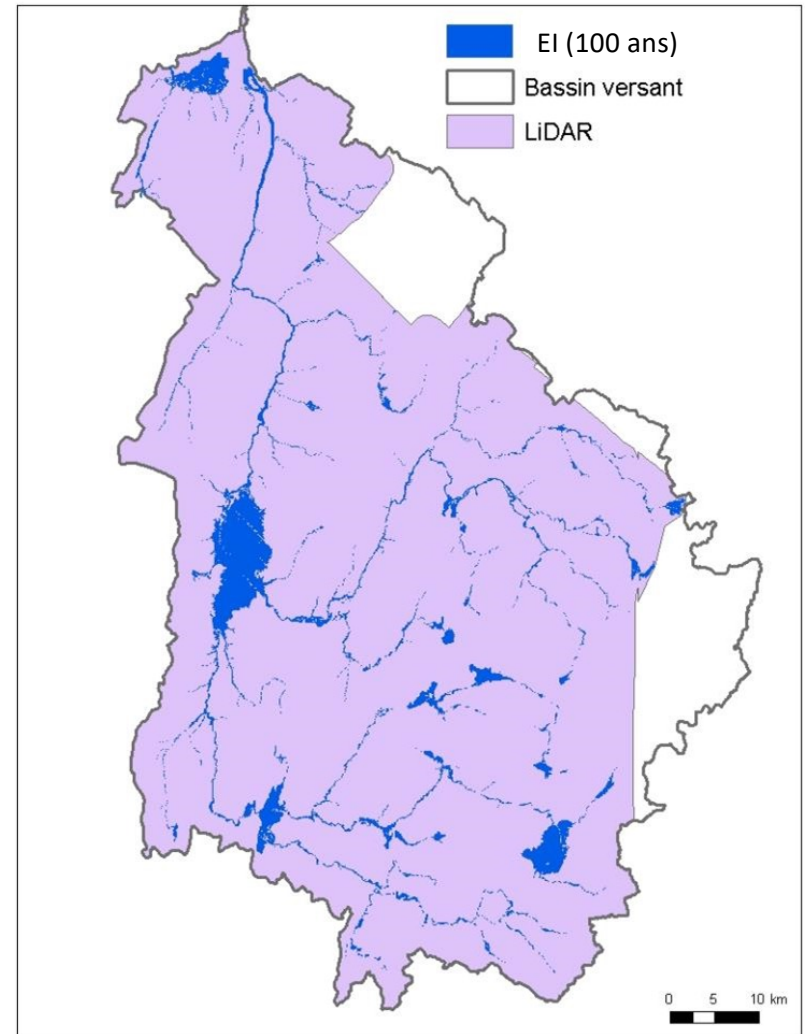
Adaptation de l'EPRI au Québec

Vers un portrait national du risque lié aux inondations
par le croisement d'espaces d'inondabilité (EI) avec
3 enjeux (habitants, logements et routes)



EPRI I (2016-2017)

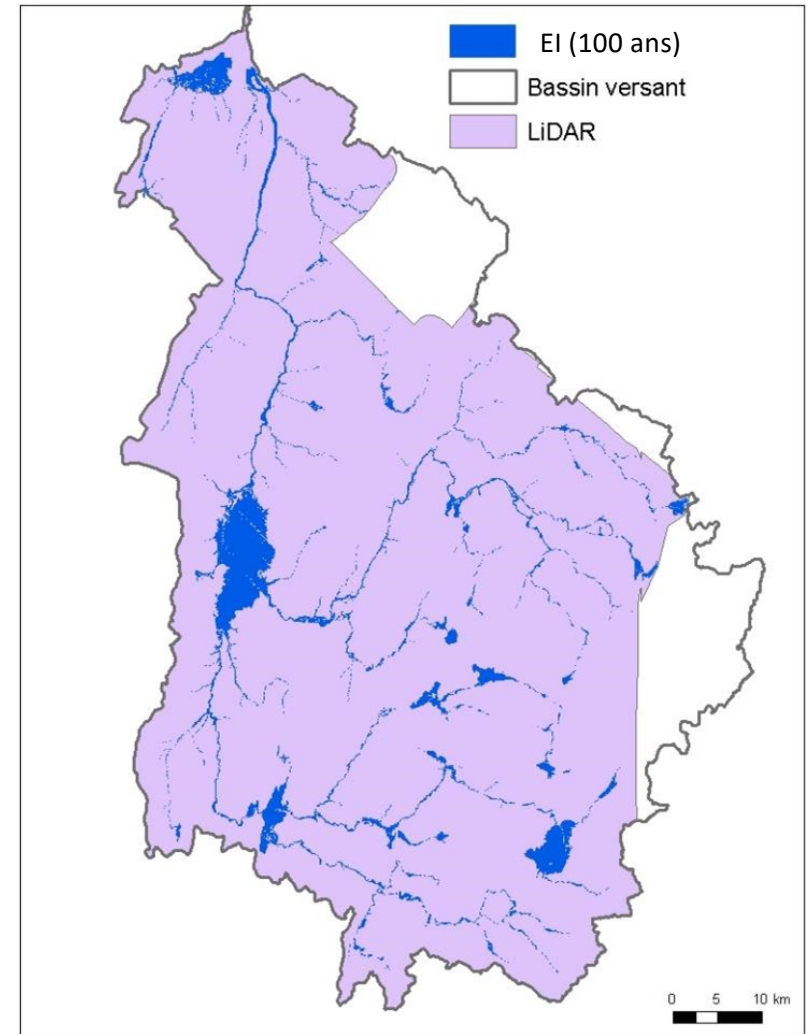
- Explorer les approches EI européennes et proposer une approche EPRI pour le Québec
- 4 méthodes EI testées
- Modélisation 2D (Lisflood-FP) donne de bons résultats lorsque comparés à des crues historiques; autres méthodes sont peu satisfaisantes



EPRI I (2016-2017)

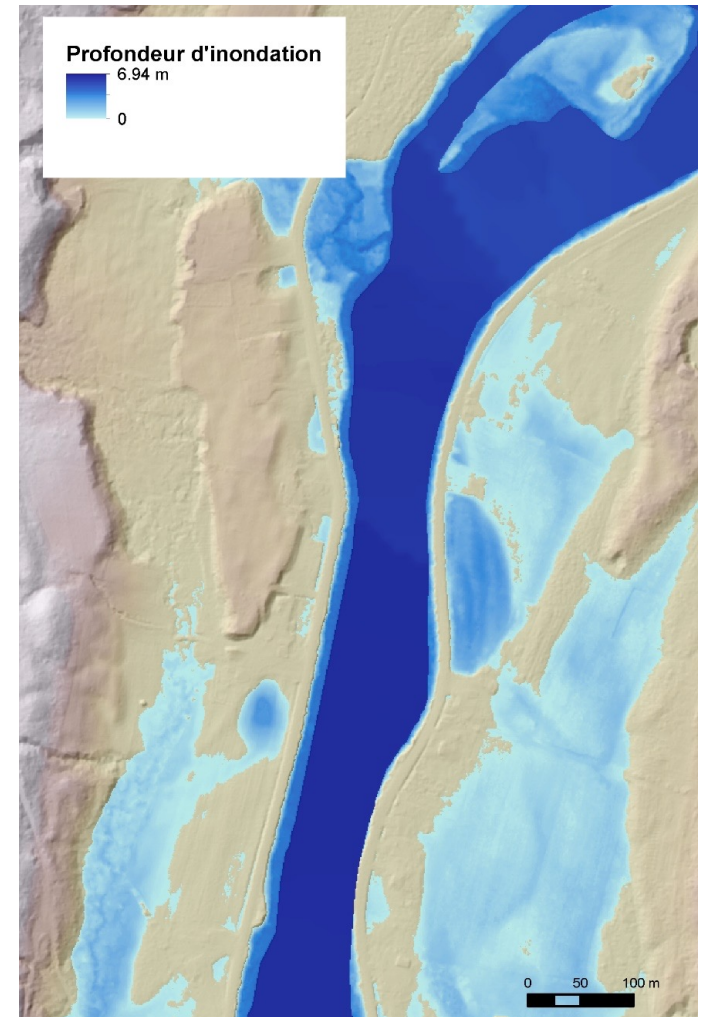
- Recommandation : utiliser une modélisation large-échelle avec Lisflood-FP considérant la qualité des résultats et la couverture nationale imminente en données LiDAR

→ *méthodologie large-échelle appliquée à l'échelle du bassin versant est explorée pour la composante prévisionnelle de l'initiative INFO-CRUE*



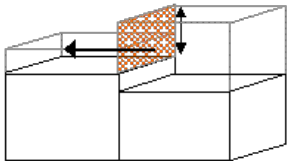
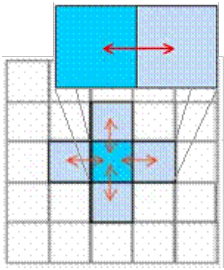
EPRI II (2018-2020)

- Développer la méthodologie pour la modélisation hydraulique large-échelle (Lisflood-FP) pour la cartographie des espaces d'inondabilité (EI) et réalisation de l'EPRI
- Bilan EI : méthode à relativement faible coût (pas de relevés de bathymétrie, pas de calibration, faible temps de calcul) mais relativement exacte et précise (erreur < 30 cm) [*Poursuite du développement dans l'initiative INFO-CRUE*]



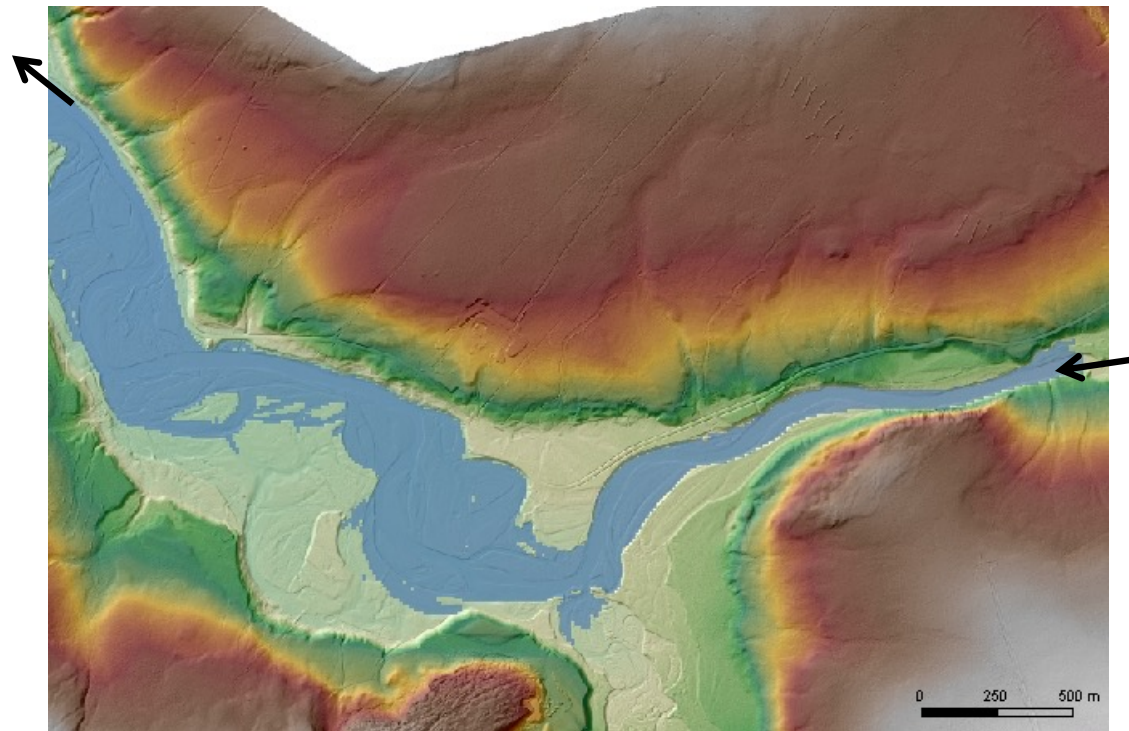
EPRI II : volet cartographie de l'aléa avec LiDAR

- Modèle Numérique de Terrain (MNT) LiDAR: précision accrue
- Conditions aux limites (où et comment l'eau entre et sort)



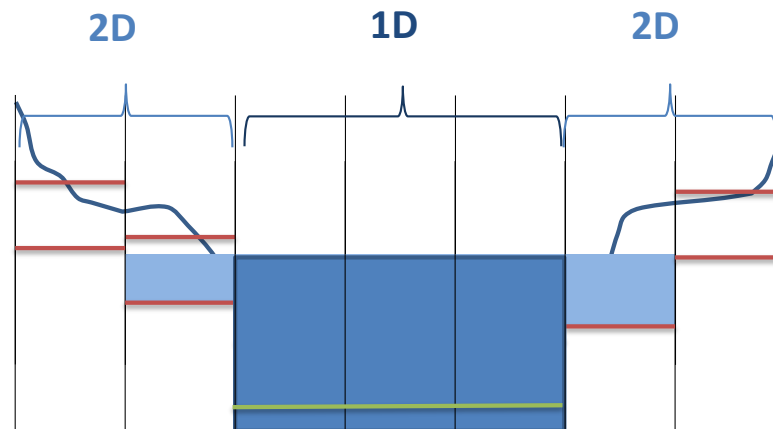
Modèle LISFLOOD-FP

<http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood/>



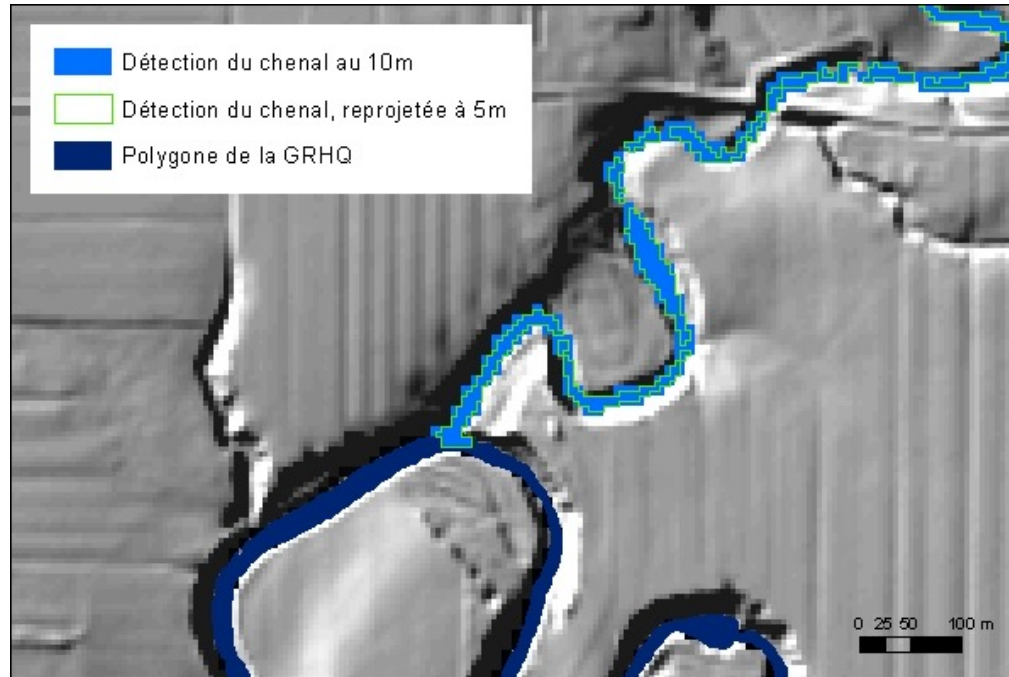
EPRI II : volet cartographie de l'aléa

- Simulations hydrauliques LISFLOOD-FP 1D/2D (2D plaine, 1D chenal)
- 2D: MNT aux 10m (à partir des LiDAR aux 1 m)
- n de Manning constant dans le chenal (0.03) et fonction de l'utilisation du sol dans la plaine – pas de calibration



Modélisation LISFLOOD-FP

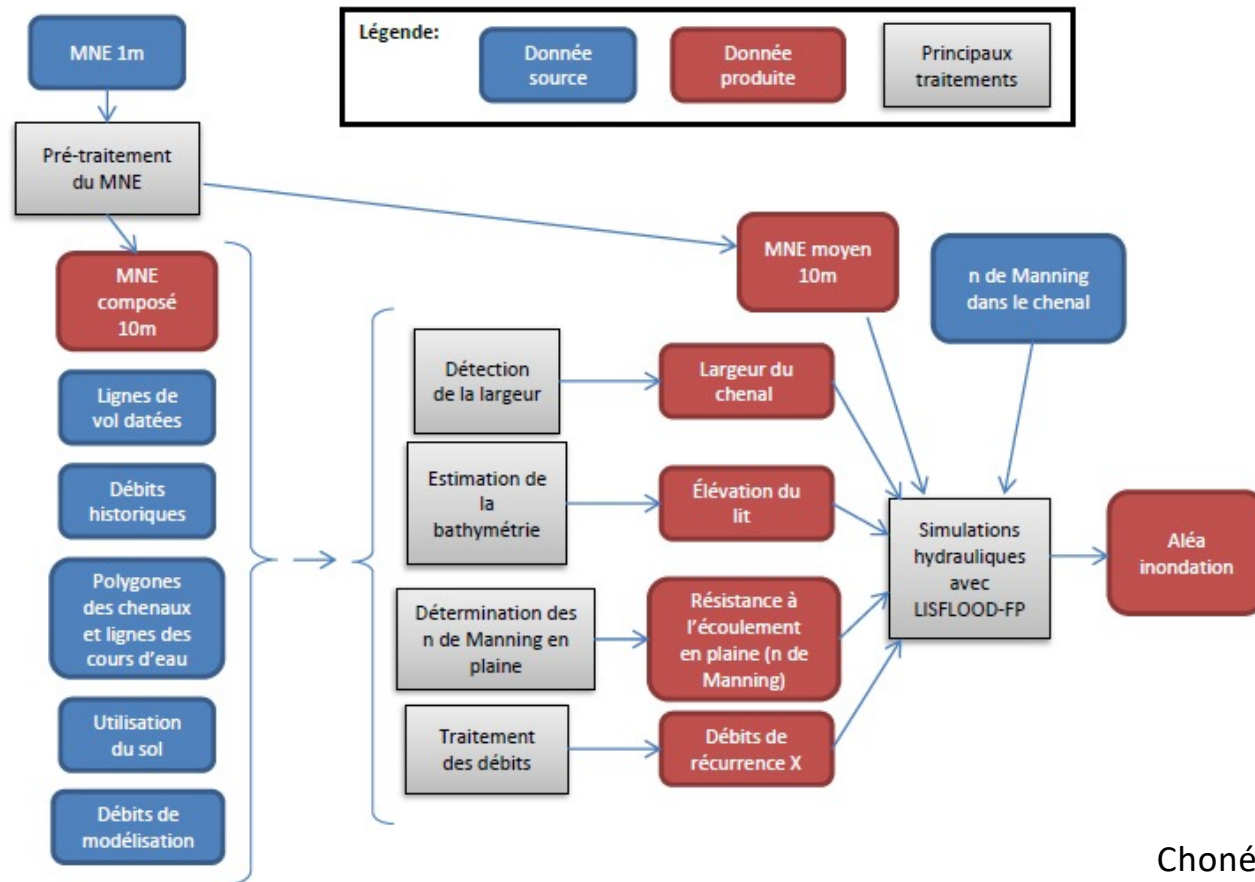
- Besoin de données de largeur et d'élévation du lit en tous points



Largeur
mouillée

GRHQ: Géobase du Réseau Hydrographique du Québec

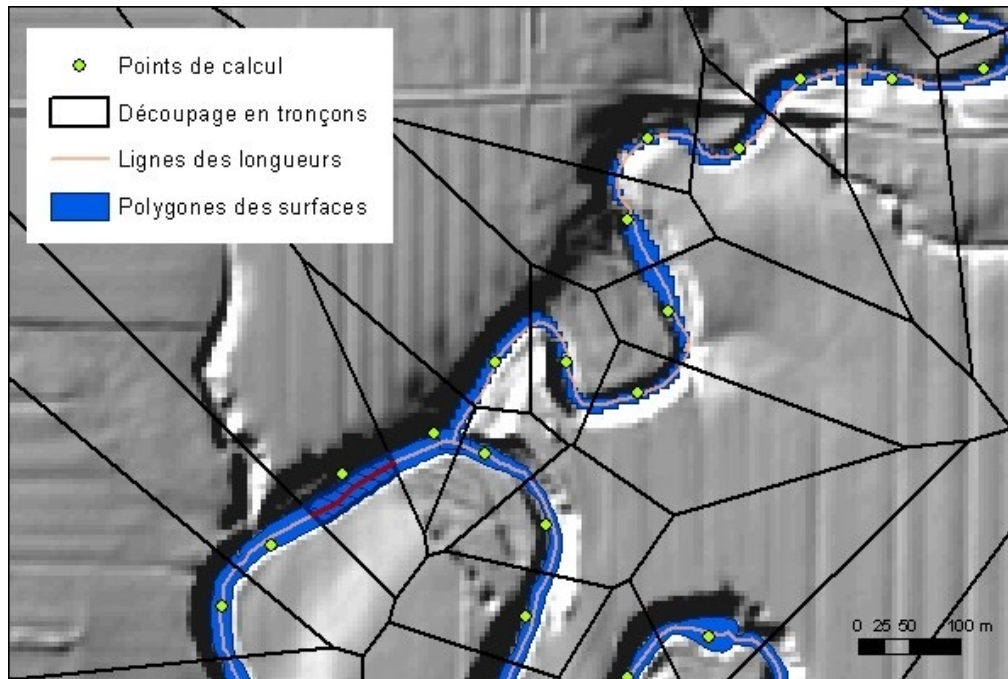
Modélisation LISFLOOD-FP



Choné et al. (2020)

Modélisation LISFLOOD-FP

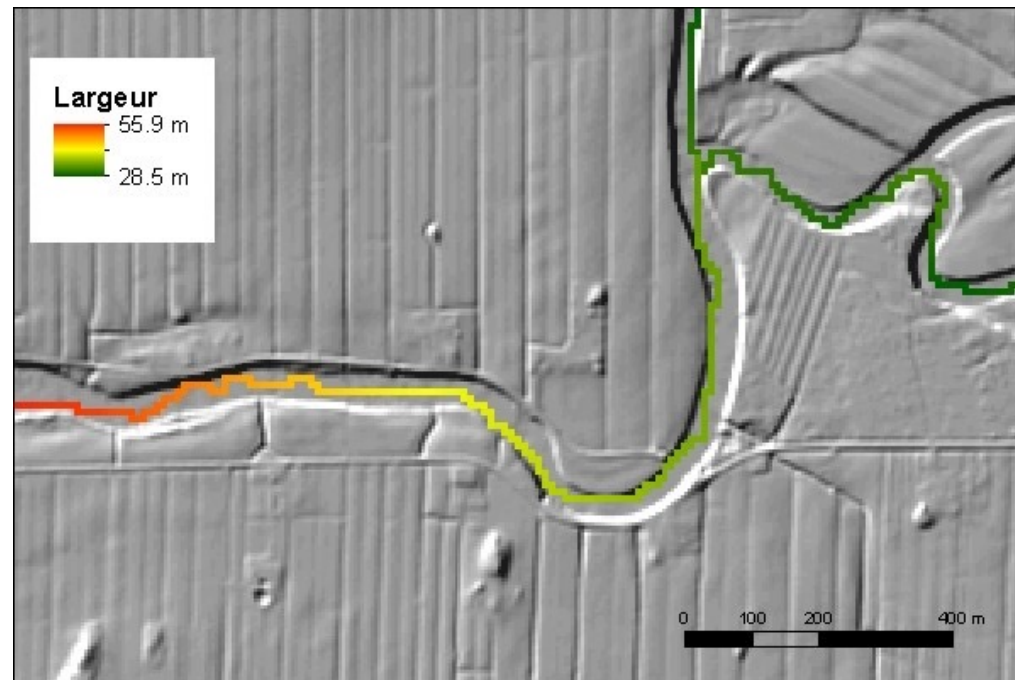
- Largeur par tronçon: méthode (SIG) automatisée



Largeur = superficie / longueur

Modélisation LISFLOOD-FP

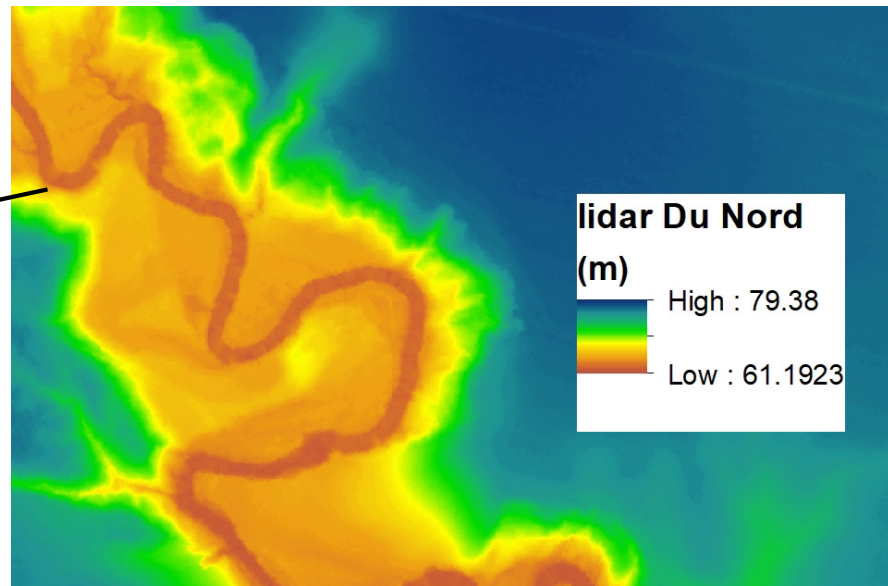
- Interpolation de la largeur



Modélisation LISFLOOD-FP

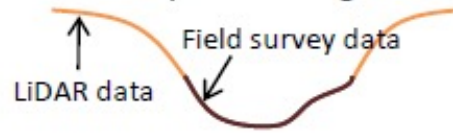
- Élévation du lit en tous points
- Problème: pas de donnée de bathymétrie

Élévation de la
surface de l'eau

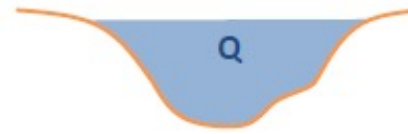


Traditional modelling with bathymetry

- 1) DEM corrected with bathymetry data acquired during field survey



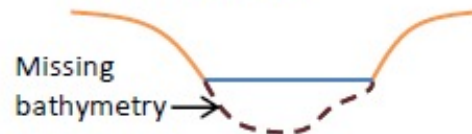
- 2) 2D flow simulation



Flood stage comparison

Discharge Correction Technique (DCT)

- 1) Water surface assessment from LiDAR data



- 2) 2D flow simulation with a reduced discharge



Terrain Correction Technique (TCT)

- 1) Water surface assessment from LiDAR data



- 2) 1D flow simulation to estimate flow depth and adjust bathymetry



- 3) 2D flow simulation on corrected DEM



Approche
retenue

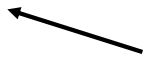
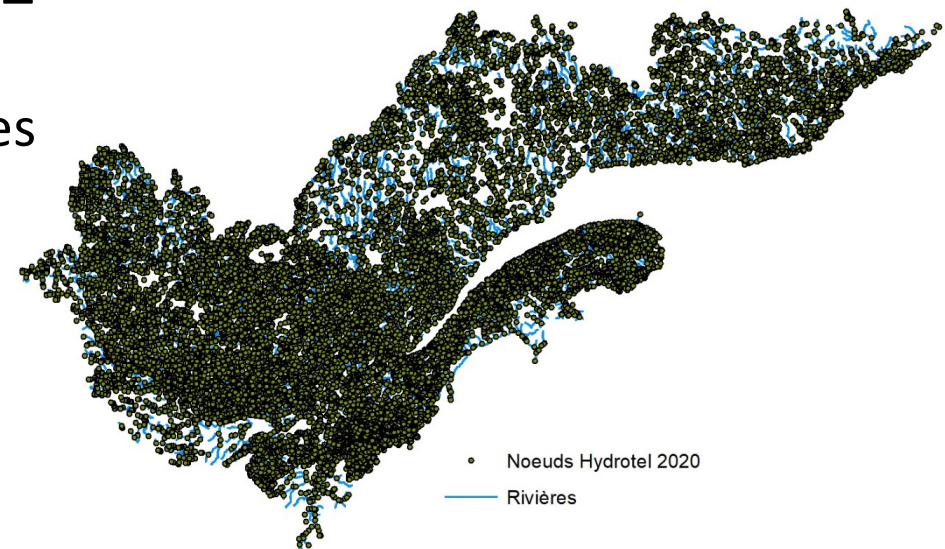


Fig. 1. Flood modelling techniques for a given discharge Q .

Choné et al. (2018)

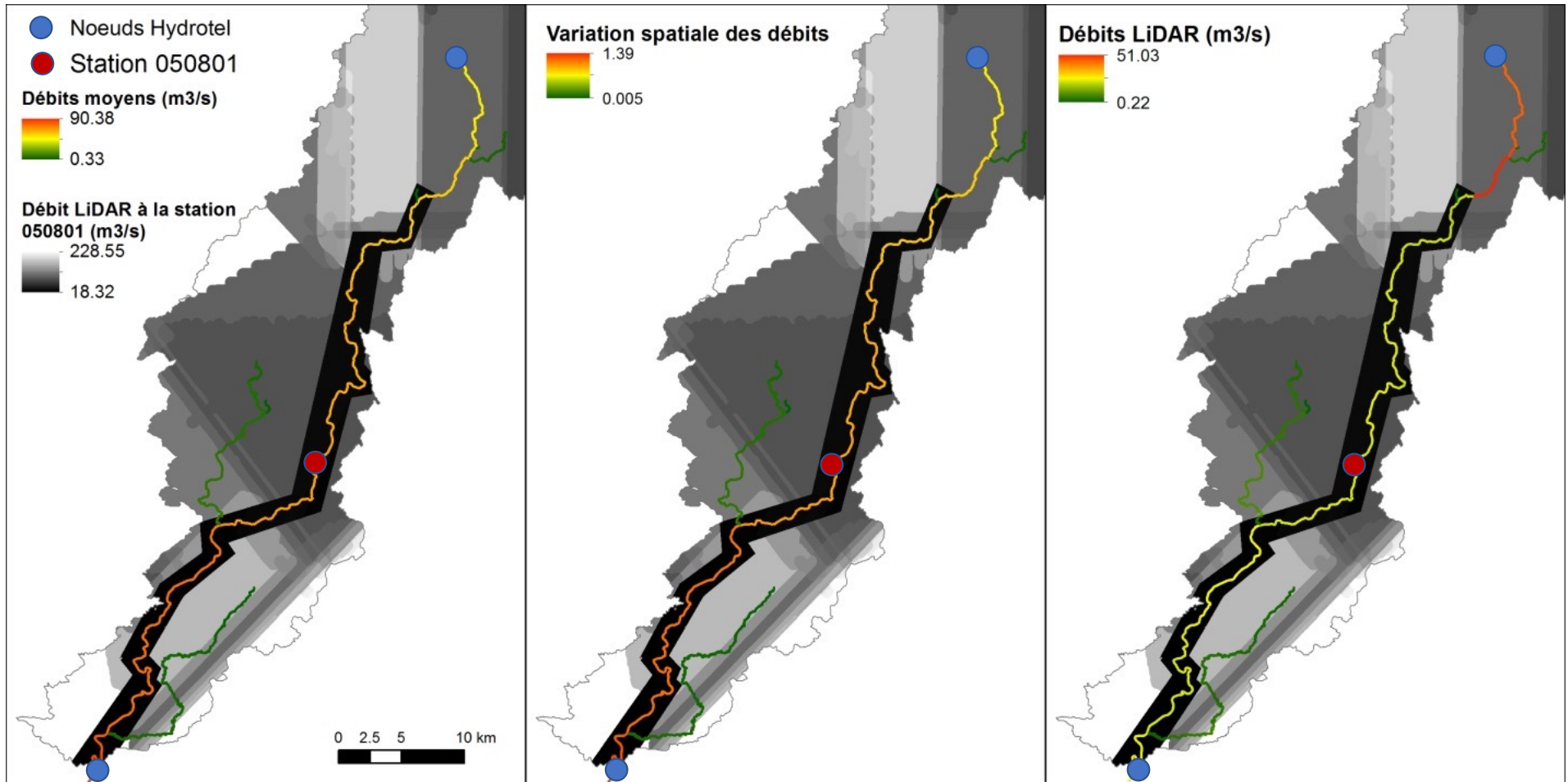
Spatialisation du débit LiDAR: Noeuds Hydrotel (atlas hydroclimatique, MELCC)

- Débits disponibles au Québec à 28 000 noeuds (Atlas hydroclimatique 2020) – combinaison de modélisation hydrologique (Hydrotel) et de données de stations de jaugeage
- Importance d'avoir accès à des données de débit partout sur le territoire pour appliquer la méthodologie large échelle

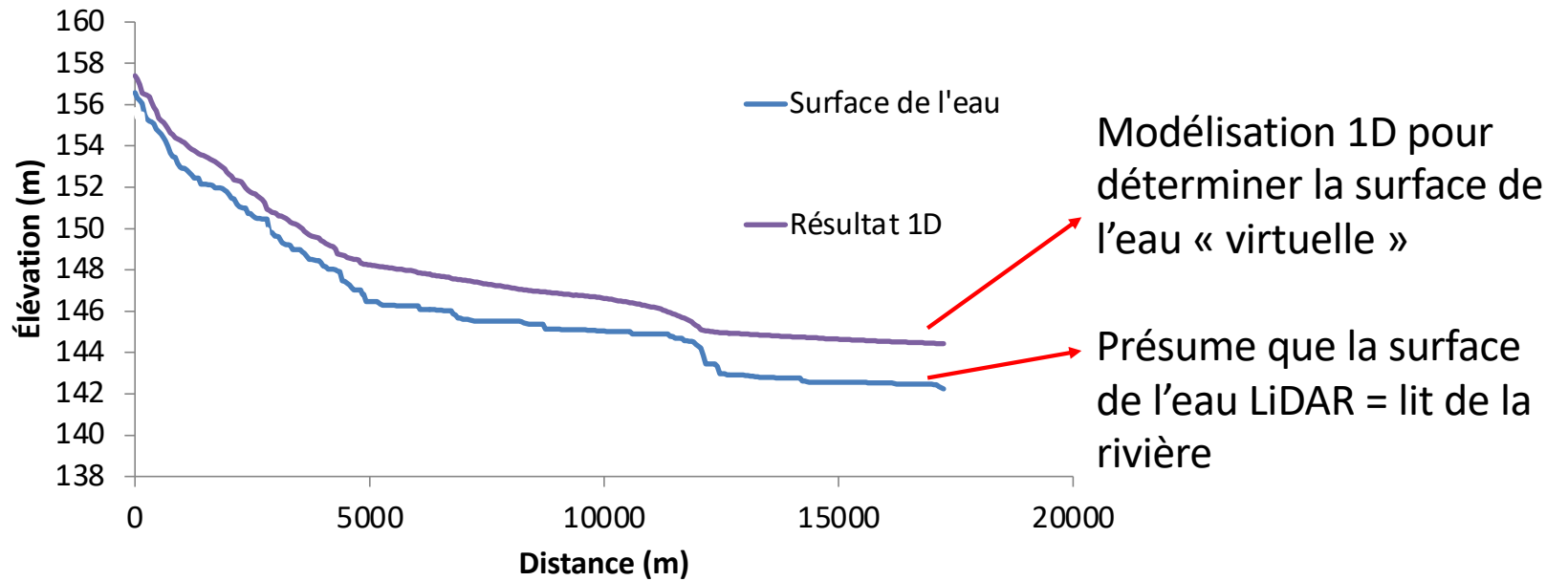


Spatialisation des débits LiDAR:

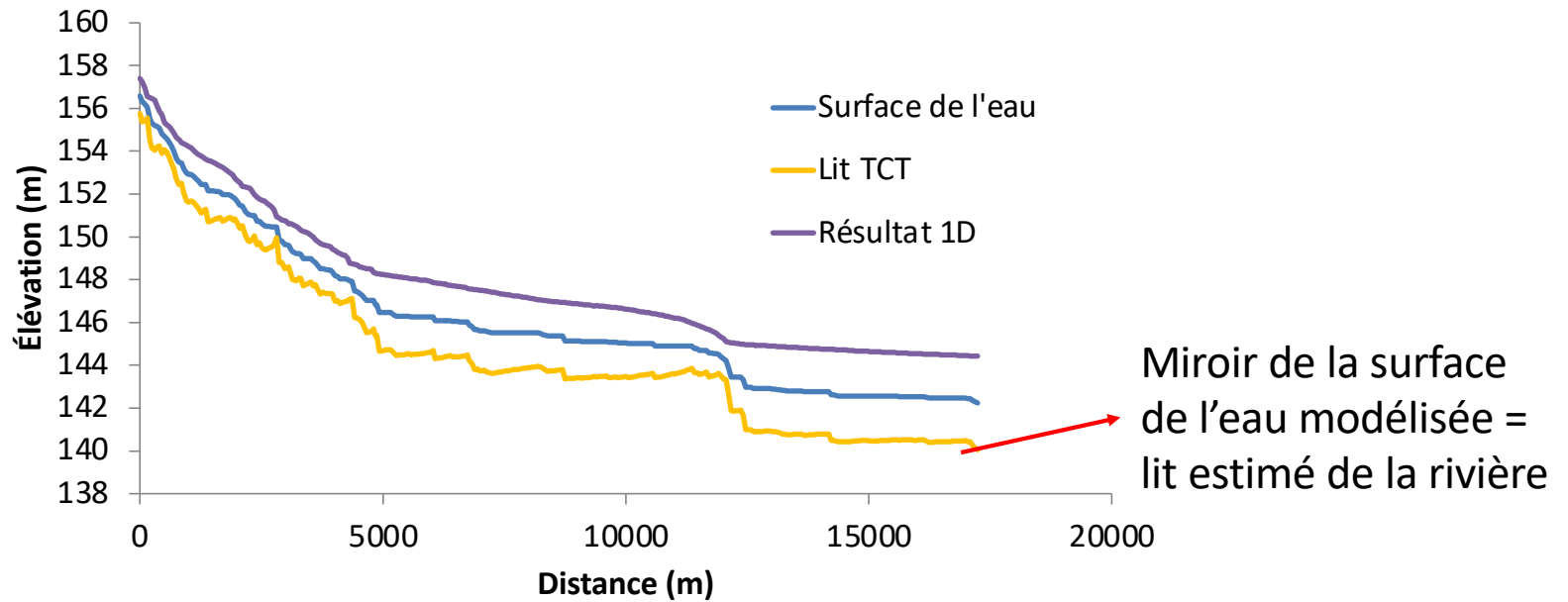
Exemple sur la rivière
Jacques-Cartier



Estimation de la bathymétrie

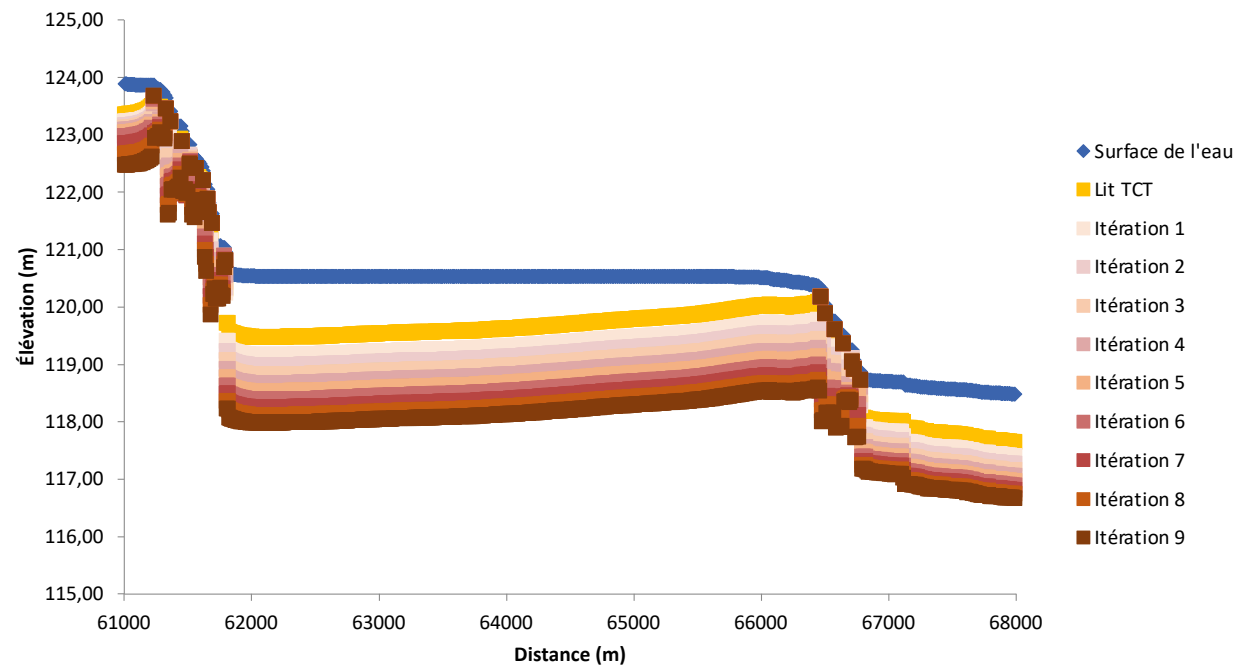


Estimation de la bathymétrie



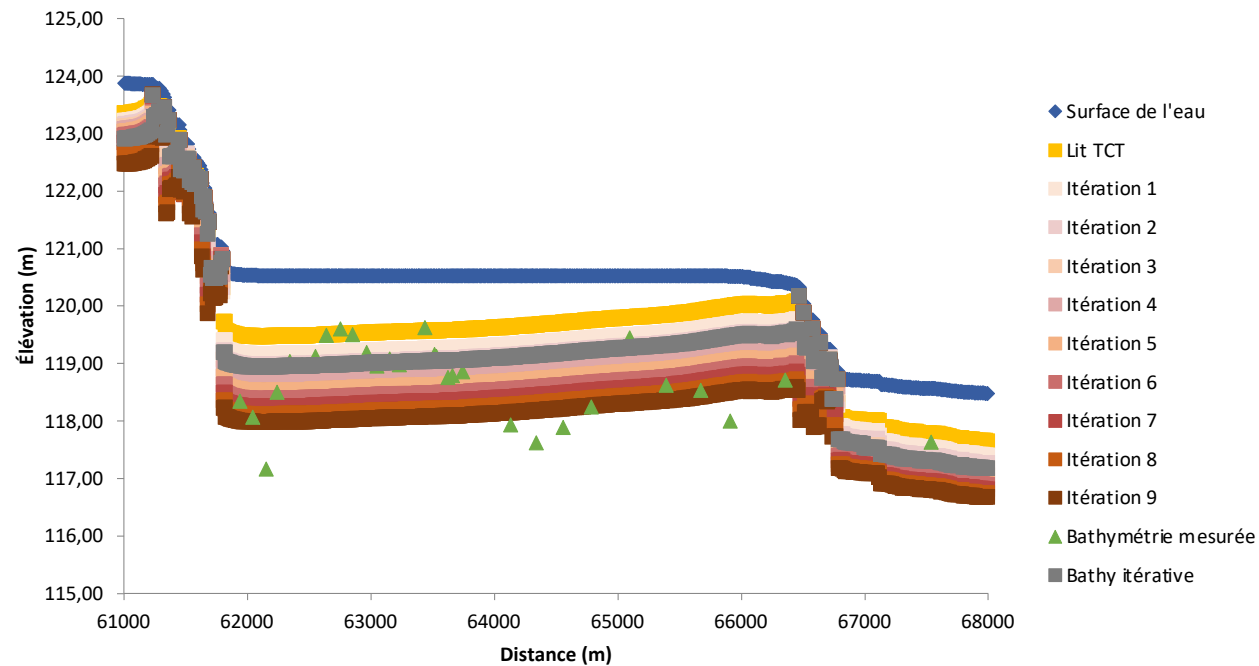
Estimation de la bathymétrie

- Processus itératif
- Intégration des corrections sur l'ensemble des zones de refoulement



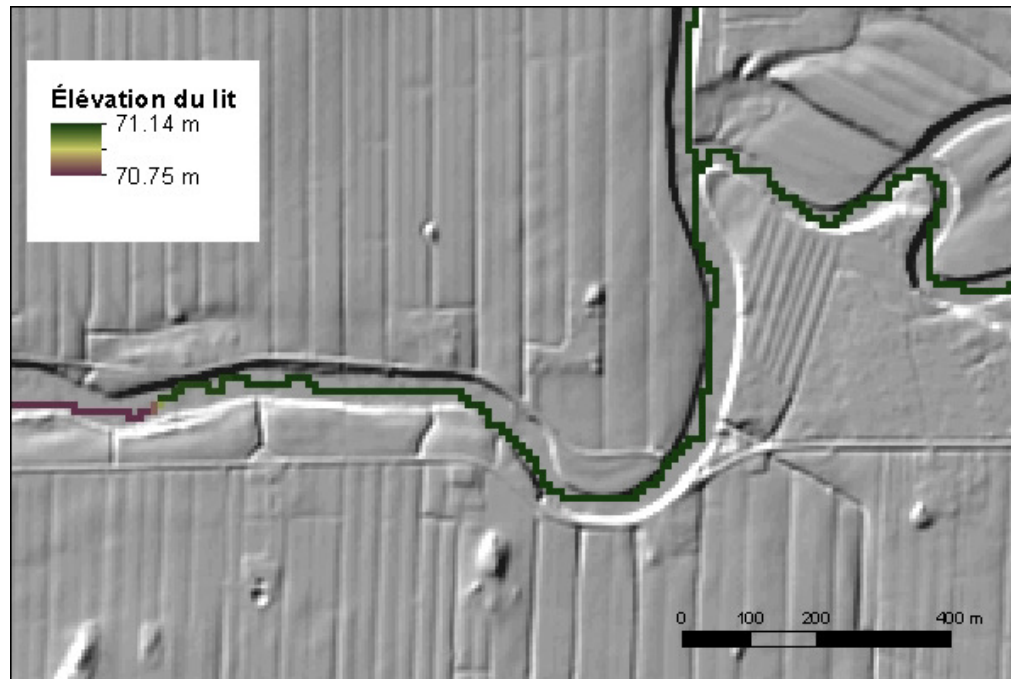
Estimation de la bathymétrie

- Processus itératif
- Intégration des corrections sur l'ensemble des zones de refoulement



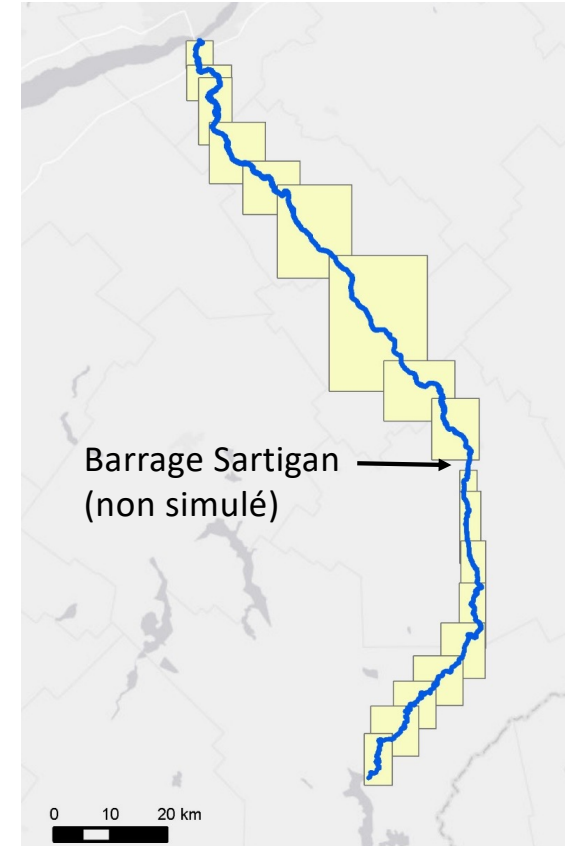
Estimation de la bathymétrie

- Génération d'un fichier d'élévation du lit



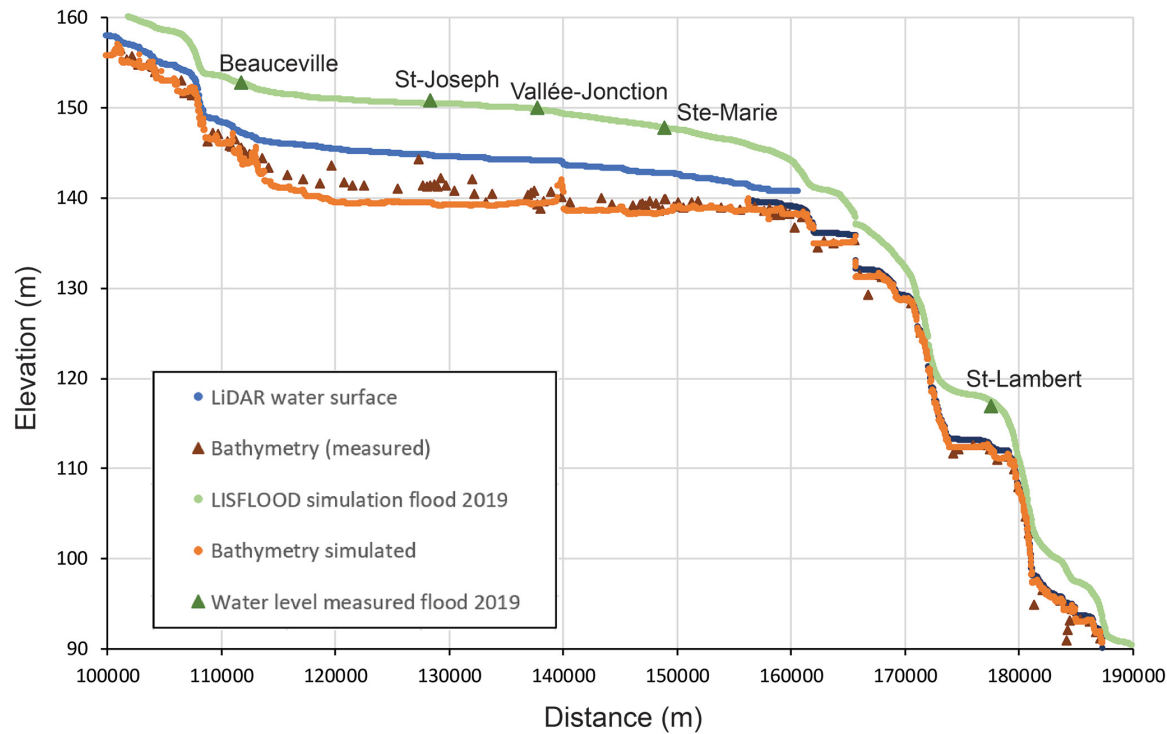
Tuilage

- Permet de réduire le temps de calcul (e.g. bassin de la rivière Chaudière: 1 heure sur PC avec CPU 4 cœurs à 3.4 GHz, 16 GB RAM)
- De l'aval vers l'amont, en se servant des niveaux d'eau prédits par la simulation aval comme condition limite pour la simulation suivante
- Taille minimum: 10 km de longueur (parfois plus, la distance étant prolongée jusqu'à atteindre une pente supérieure à 0.1%)
- Chevauchement entre les tuiles d'au moins 2 km
- Impact du tuilage sur les simulations: vérifié



Tuilage sur la rivière Chaudière

Validation avec données d'inondation - Chaudière

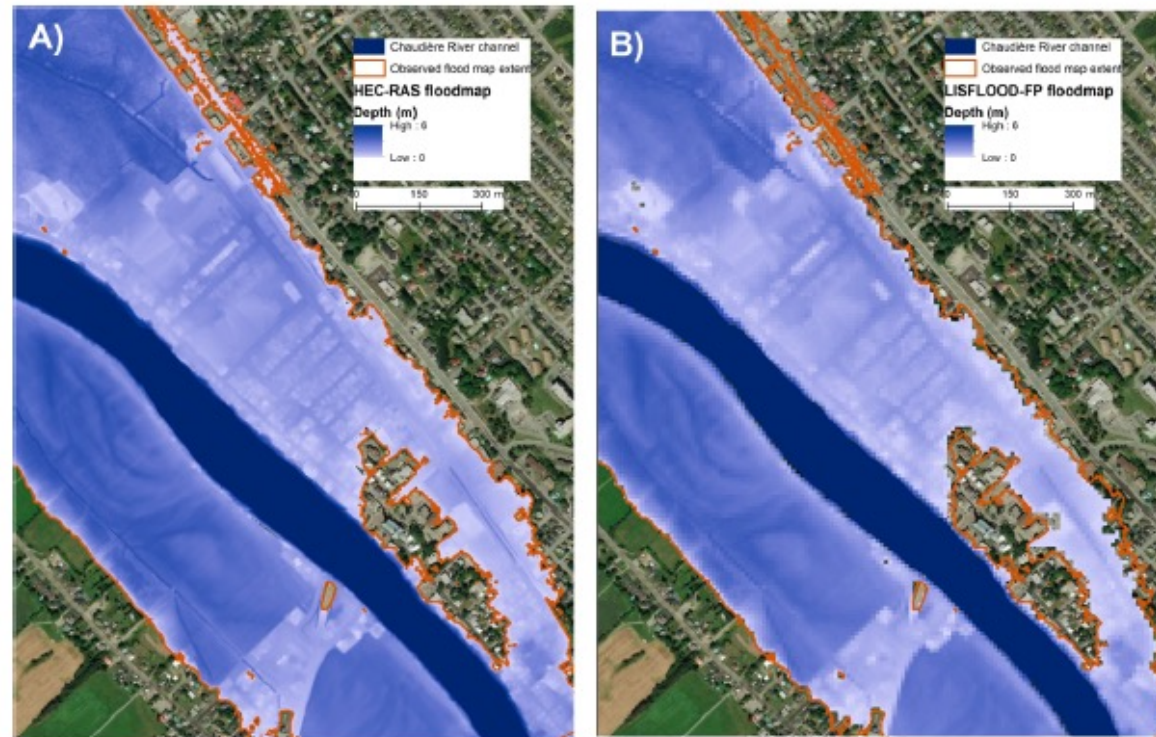


Choné et al. (2021)



Comparaison LISFLOOD et photo à St-Joseph

Comparaison LISFLOOD - HEC-RAS rivière Chaudière



Profondeurs d'inondation pour le 21 avril 2019 à Sainte-Marie avec A) HEC-RAS 2D et B) LISFLOOD-FP (Bessar et al., soumis à Canadian Water Resource Journal)



Comparative analysis of local and large-scale approaches to floodplain mapping. A case study of the Chaudière River

Journal:	<i>Canadian Water Resources Journal</i>
Manuscript ID	TCWR-2020-0074.R1
Manuscript Type:	Original Paper
Date Submitted by the Author:	16-Mar-2021
Complete List of Authors:	BESSAR, Mohammed Amine; Université Laval, Civil and water engineering Choné, Guénolé; Concordia University, Geography, Planning and Environment Lavoie, Audrey; Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Direction de l'expertise hydrique et atmosphérique Buffin-Bélanger, Thomas; UQAR, Biologie, chimie et géographie Biron, Pascale; Concordia University, Geography, Planning and Environment Matte, Pascal; Environment and Climate Change Canada Québec, Meteorological Research Ancil, François; Université Laval, Civil and Water Engineering
Keywords:	Hydraulic modelling, HEC-RAS, LISFLOOD-FP, LiDAR

Accepté avec révisions, resoumis 16 mars 2021



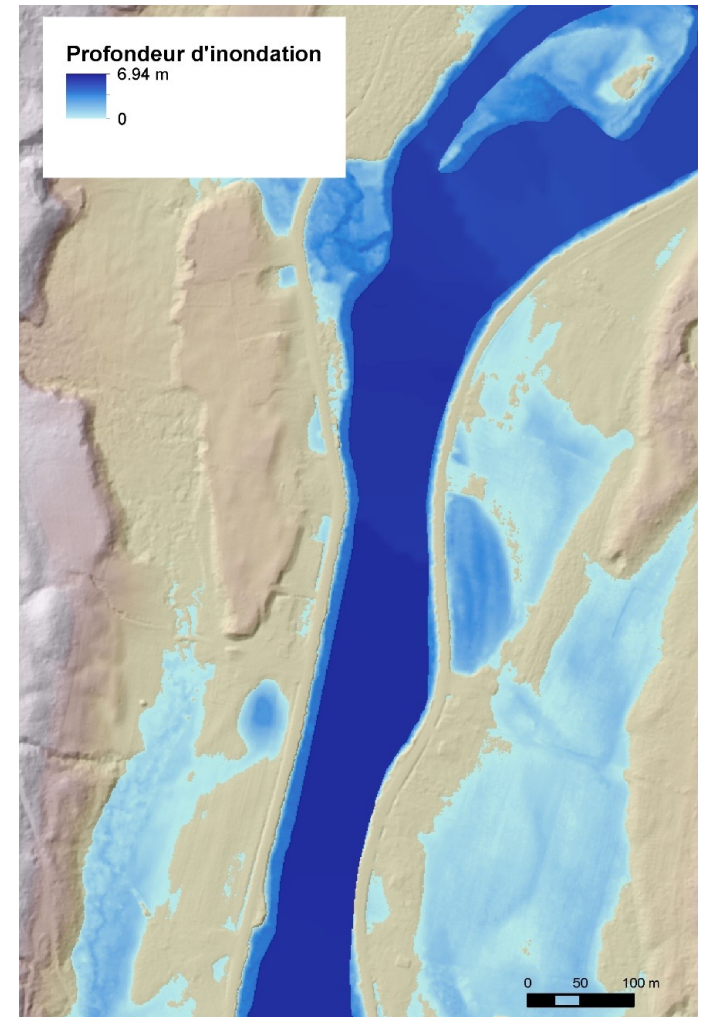
An assessment of large-scale flood modelling based on LiDAR data

Journal:	<i>Hydrological Processes</i>
Manuscript ID	HYP-20-0637.R2
Wiley - Manuscript type:	Research Article
Date Submitted by the Author:	31-May-2021
Complete List of Authors:	Choné, Guénolé; Concordia University, Geography, Planning and Environment Biron, Pascale; Concordia University, Geography, Planning and Environment Buffin-Bélanger, Thomas; Université du Québec à Rimouski, Chimie, biologie et géographie Mazgareanu, Iulia; Concordia University, Geography, Planning and Environment Neal, Jeffrey; University of Bristol, School of Geographical Sciences Sampson, Christopher; Fathom, Fathom
Keywords:	Hydraulic model, LISFLOOD-FP, Flood management, Validation, Water level, GIS

Accepté avec révisions mineures, resoumis 31 mai 2021

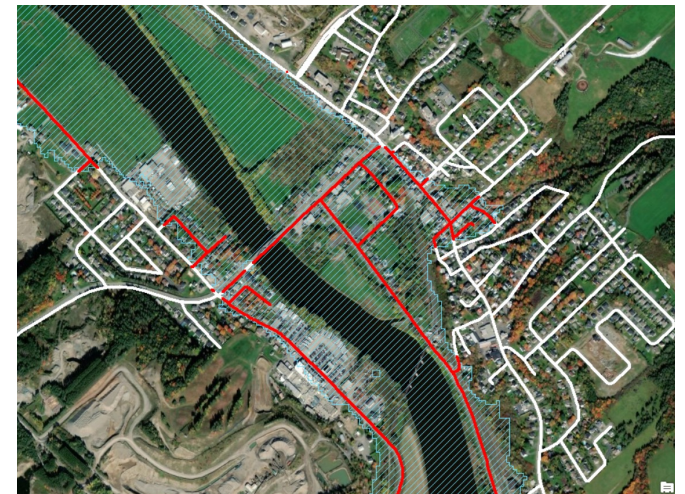
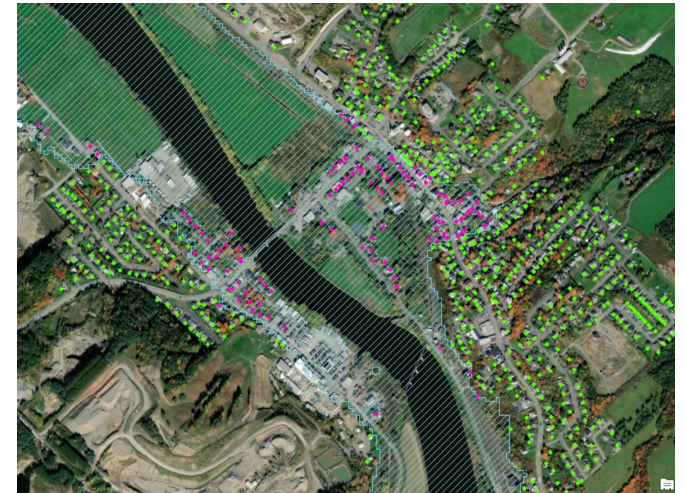
EPRI II (2018-2020)

- Bilan EI : méthode à relativement faible coût (pas de relevés de bathymétrie, pas de calibration, faible temps de calcul) mais relativement exacte et précise (erreur < 30 cm)
- Bilan EPRI : incertitudes liées à l'hétérogénéité et l'exactitude des bases de données exploitées (AQGeobati, Évaluation foncière 2018, Cadastre 2018, Recensement 2016, AQReseau)



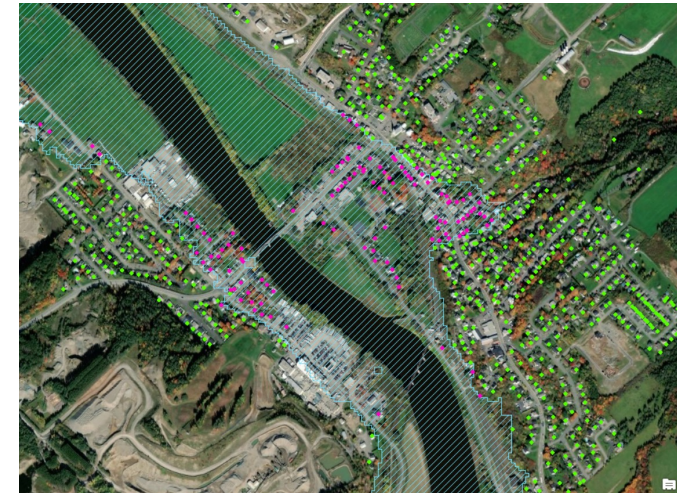
EPRI II (2018-2020)

- 7 bassins versants
- 3 espaces d'inondabilité : fréquente ($\sim Q_{20}$), moyenne ($\sim Q_{100}$) et rare ($\sim Q_{350}$)



EPRI II (2018-2020)

- Calcul de 6 indicateurs simples
- Croisement de 5 bases de données + cartes d'aléa
- Combinaisons et calculs sous ArcGIS (5 « model builder »)



AQGeobati
Evaluation foncière 2018
Cadastre 2018
Recensement 2016

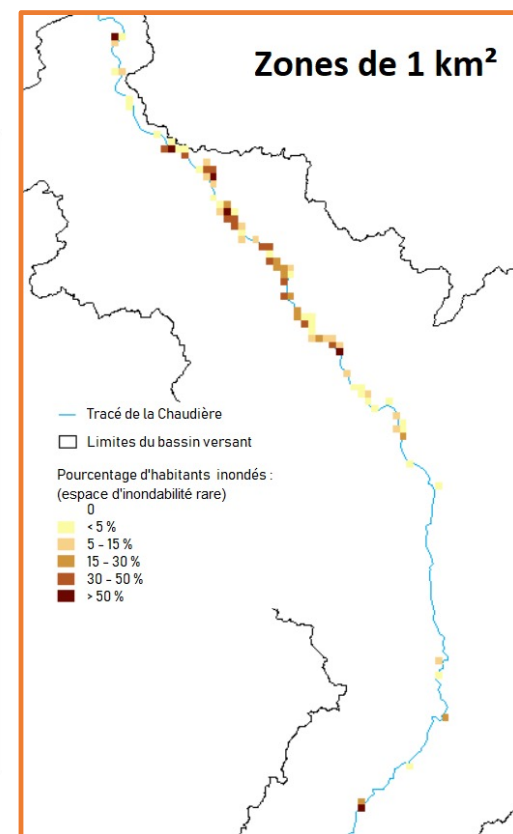
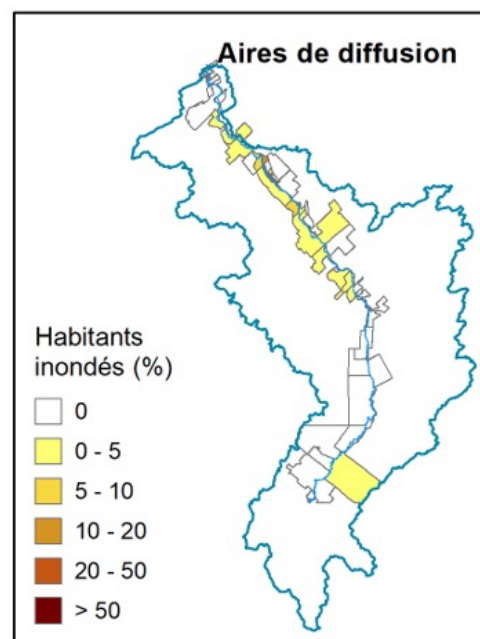
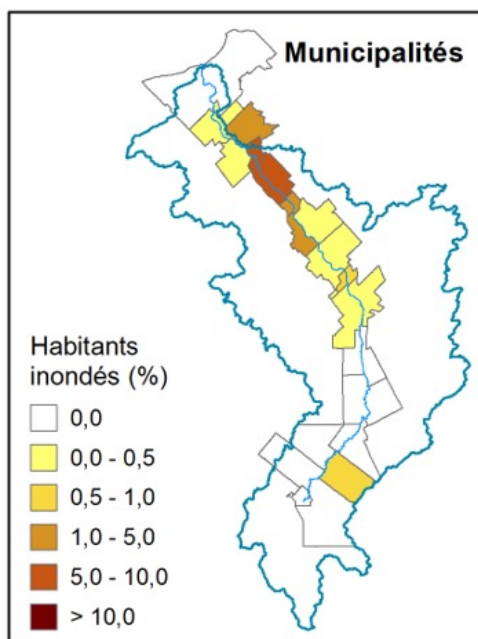
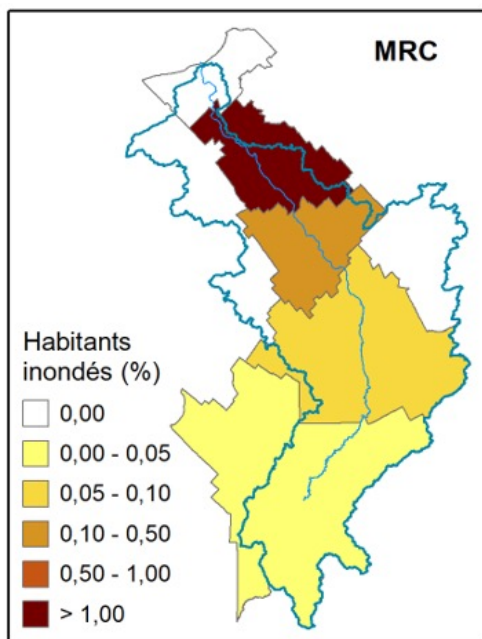
AQReseau



Dimension	Indicateur
Population	Nombre total d'habitants inondés
	Pourcentage d'habitants inondés dans une zone de référence
	Nombre total de logements inondés
	Pourcentage de logements inondés dans une zone de référence
Infrastructures de transport	Linéaire de routes inondées
	Pourcentage du linéaire de routes inondé dans une zone de référence

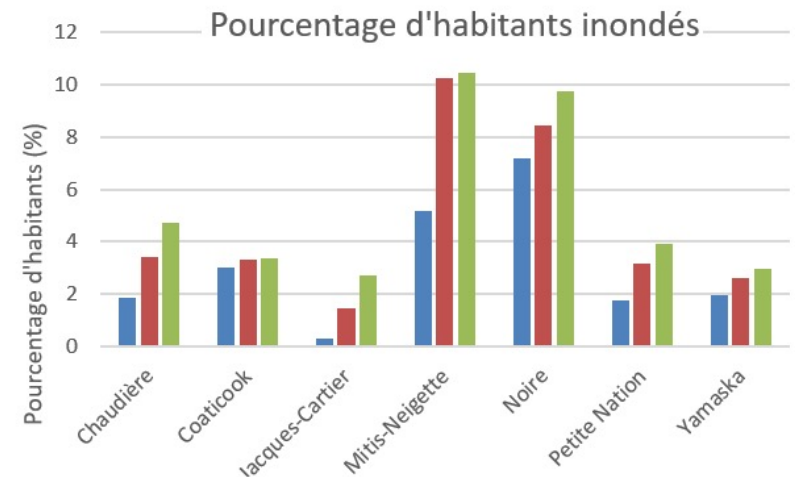
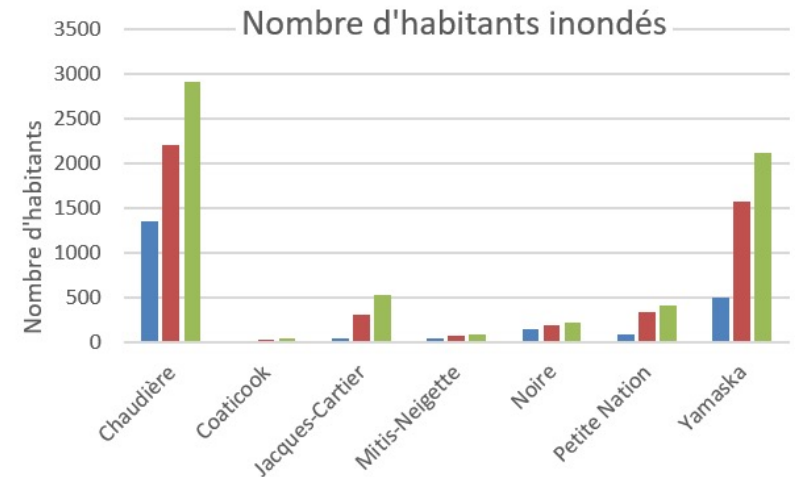
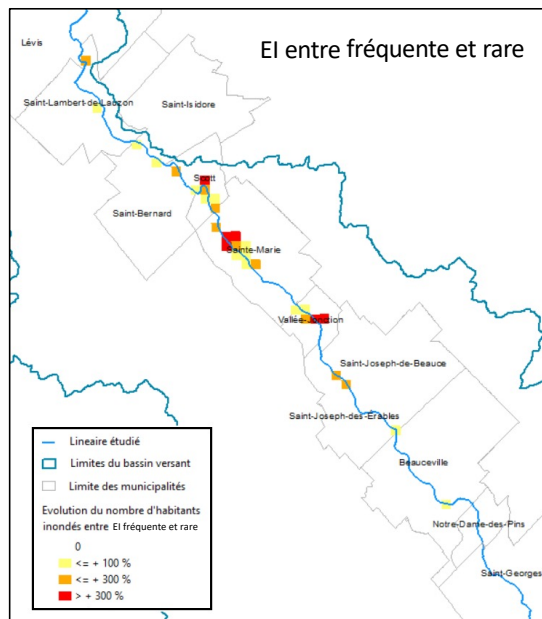
EPRI II (2018-2020)

- Réflexions sur les modes de représentation (découpage spatial)



EPRI II (2018-2020)

- Comparaison des bassins entre eux
- Evolution du risque en fonction de la fréquence de récurrence de crue



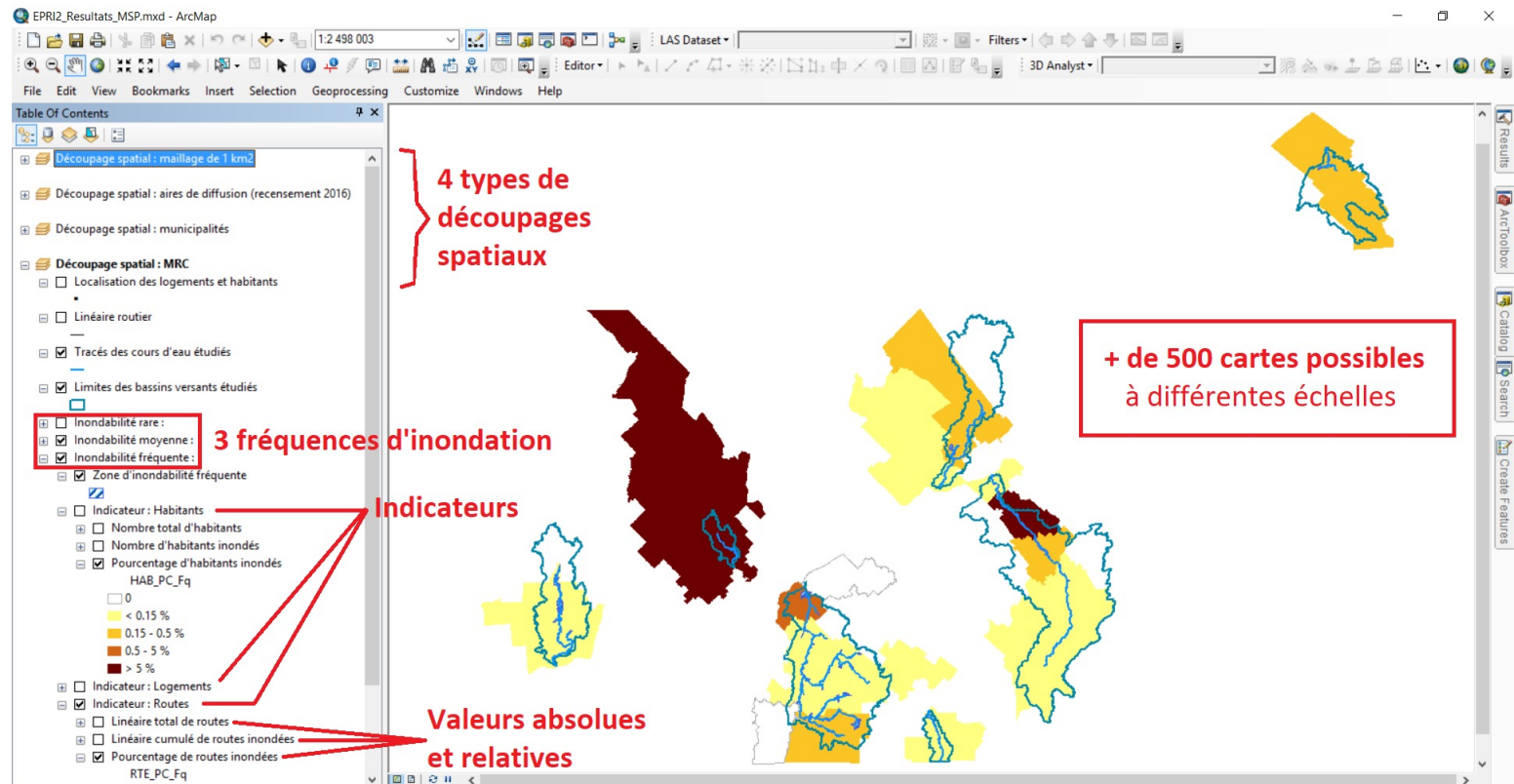
Espace d'inondabilité : ■ fréquente ■ moyenne ■ rare

EPRI II (2018-2020)

- Produit final :

Rapport et annexes

Atlas géomatique
= projet « .mxd »



EPRI III: (2020-2022)

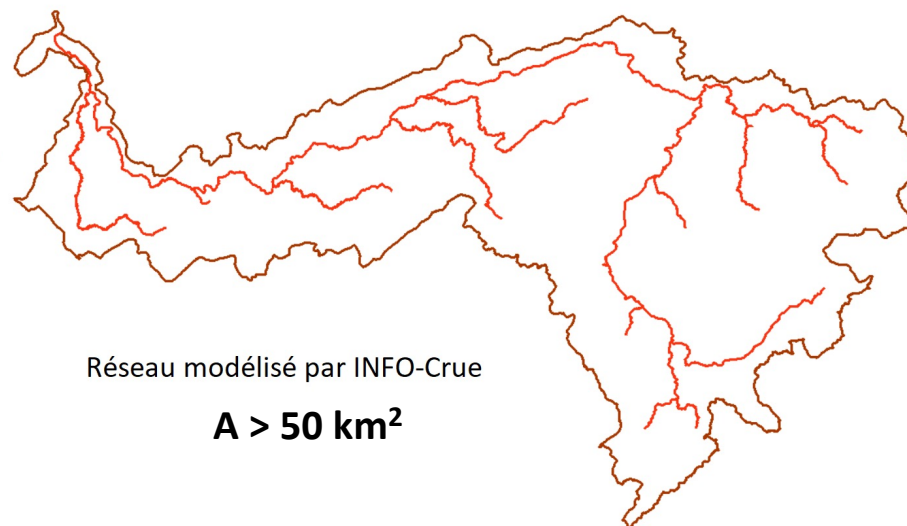
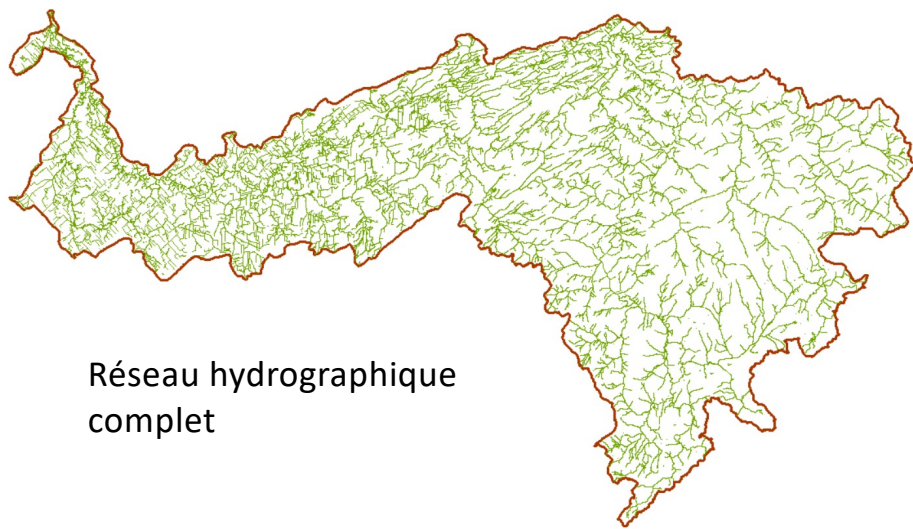
- Déployer un atlas géomatique pour l'évaluation préliminaire du risque lié aux inondations pour le Québec
- Développer des outils de consultation, d'analyse et de formation à l'attention des utilisateurs
- Paramètres:
 - Travail en climat actuel et potentiellement en climat futur;
 - Bassins-versants prioritaires INFO-CRUE;
 - 3 espaces d'inondabilité : fréquente, moyenne et rare extraits des modélisations émanant de l'initiative INFO-CRUE;

EPRI III: (2020-2022)

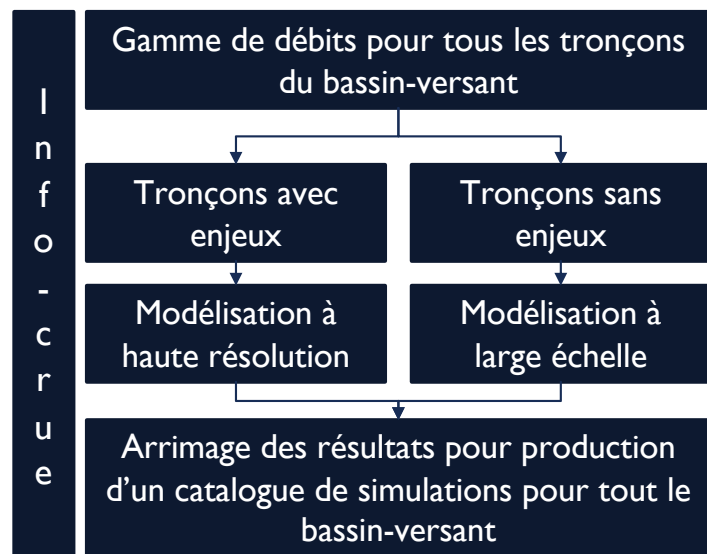
- Paramètres:
 - Indicateurs habitants et logements : données développées dans le projet ORACLE-2 de l'Université Laval (Centre de recherche en données et intelligence géospatiales (CRDIG)), financé par le CPS/MSP - moins d'incertitudes que les croisements de données EPRI II;
 - Indicateur linéaire de routes : données disponibles les plus à jour au moment de la mise en œuvre sur un bassin versant (AQ réseau pour routes)

EPRI III: Méthodes

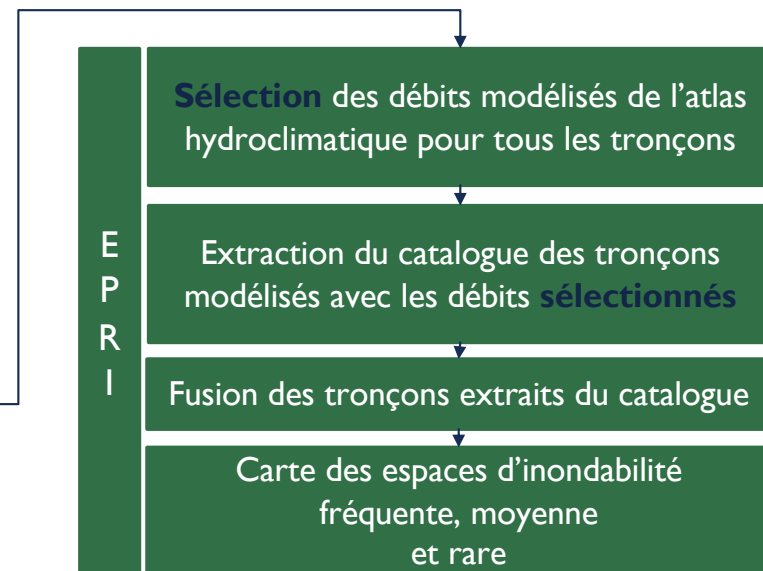
BASSIN VERSANT DE LA BECANCOUR



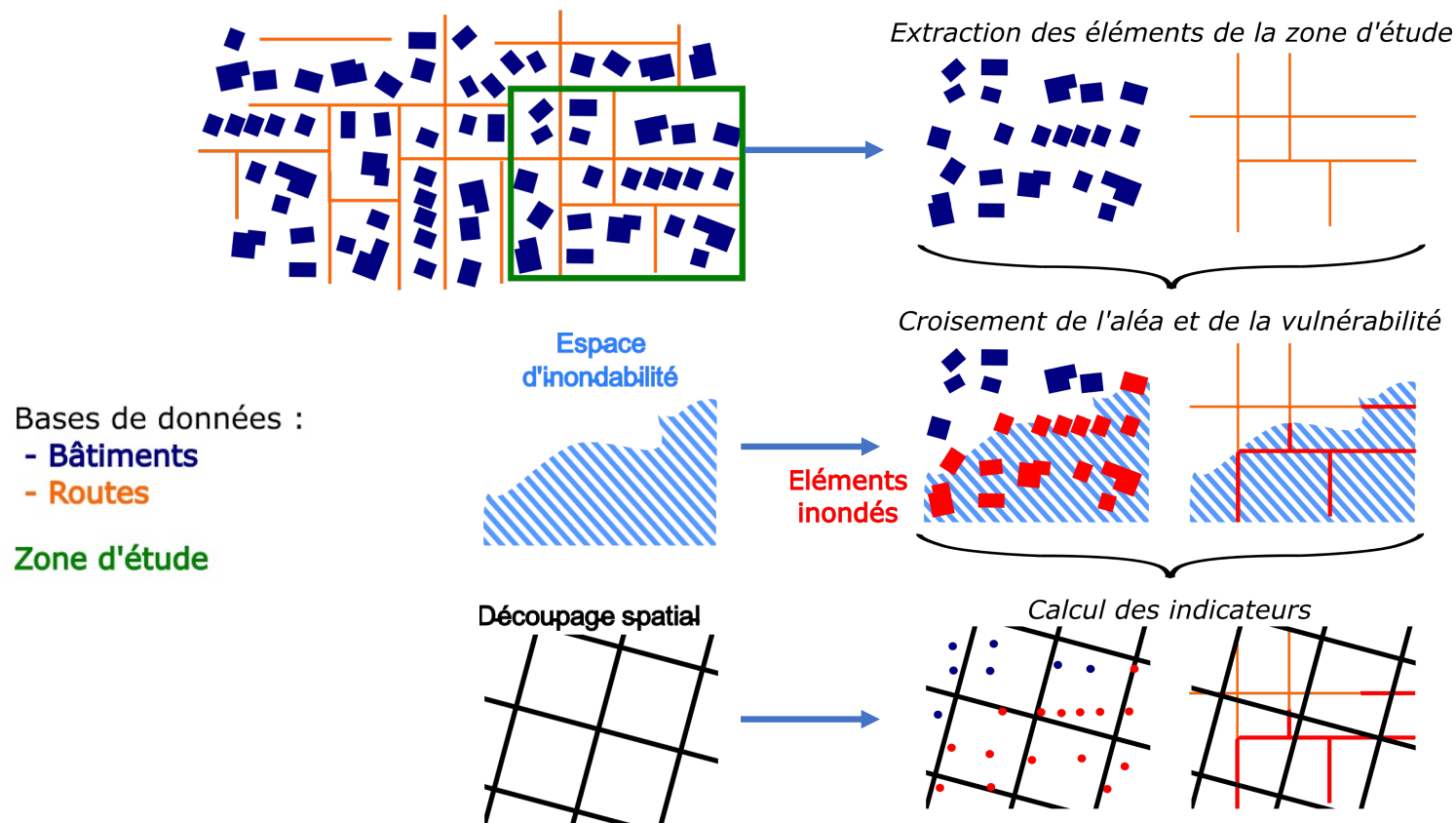
EPRI III: Méthodes

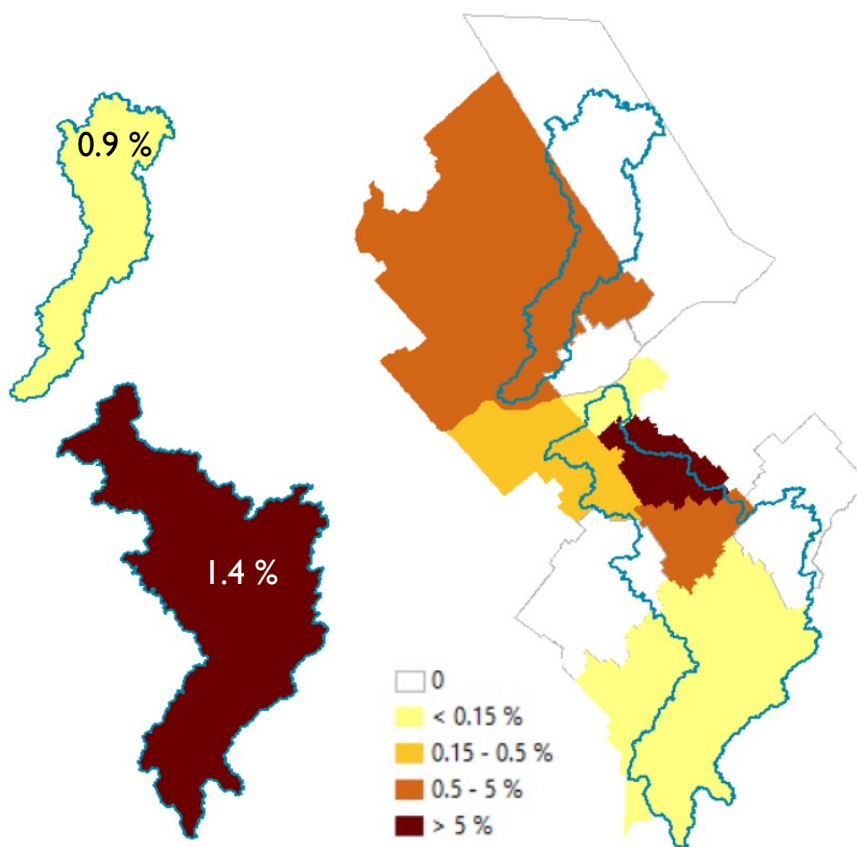


Chaîne d'opérations impliquées dans la réalisation des espaces d'inondabilité utilisés dans la production des EPRI.

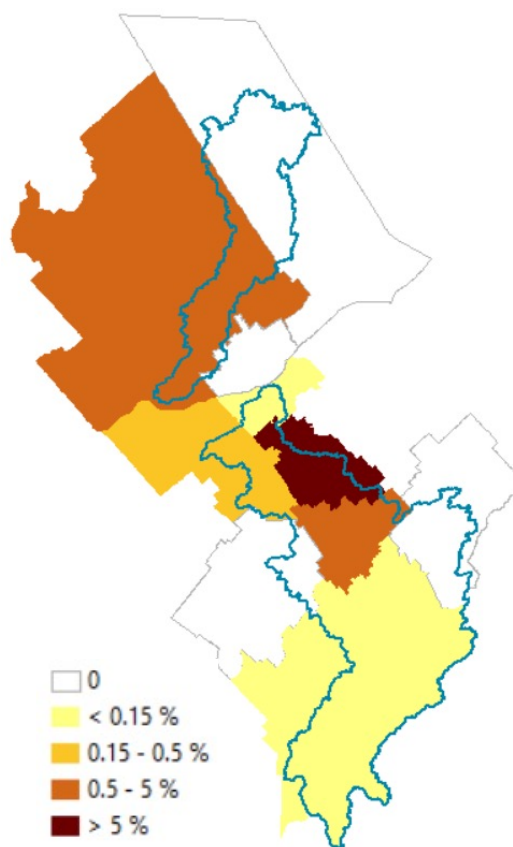


EPRI III : méthodes

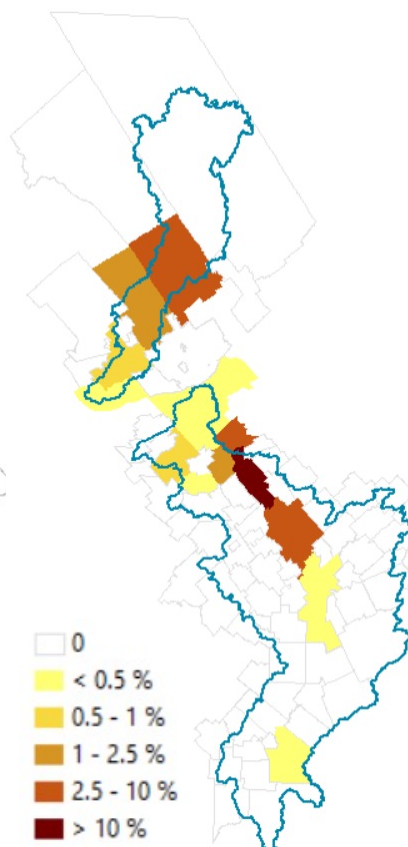




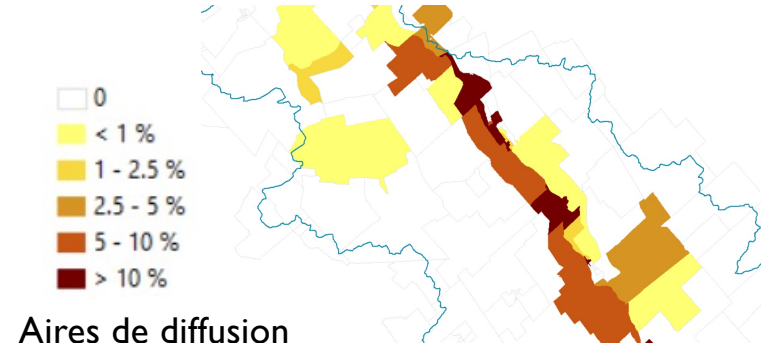
Bassins versants



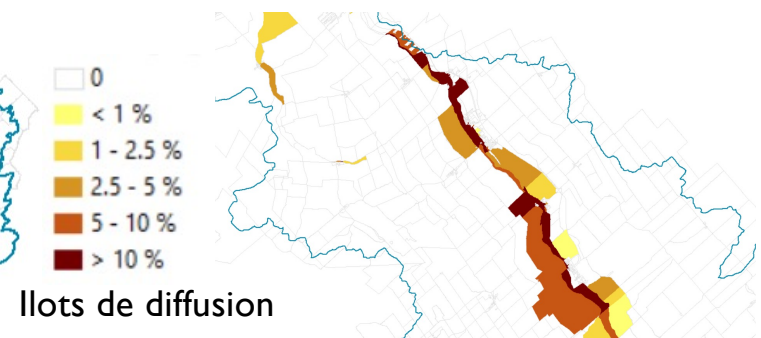
MRC



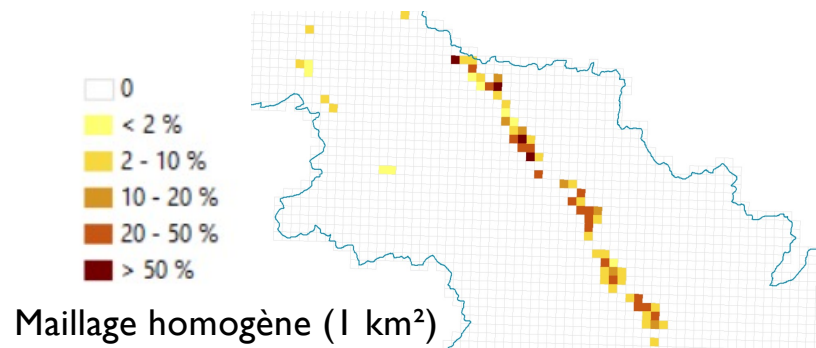
Municipalités



Aires de diffusion



Ilots de diffusion



Maillage homogène (1 km²)

Pourcentage d'habitants inondés pour une inondabilité rare
(résultats préliminaires)

EPRI III : 6 découpages

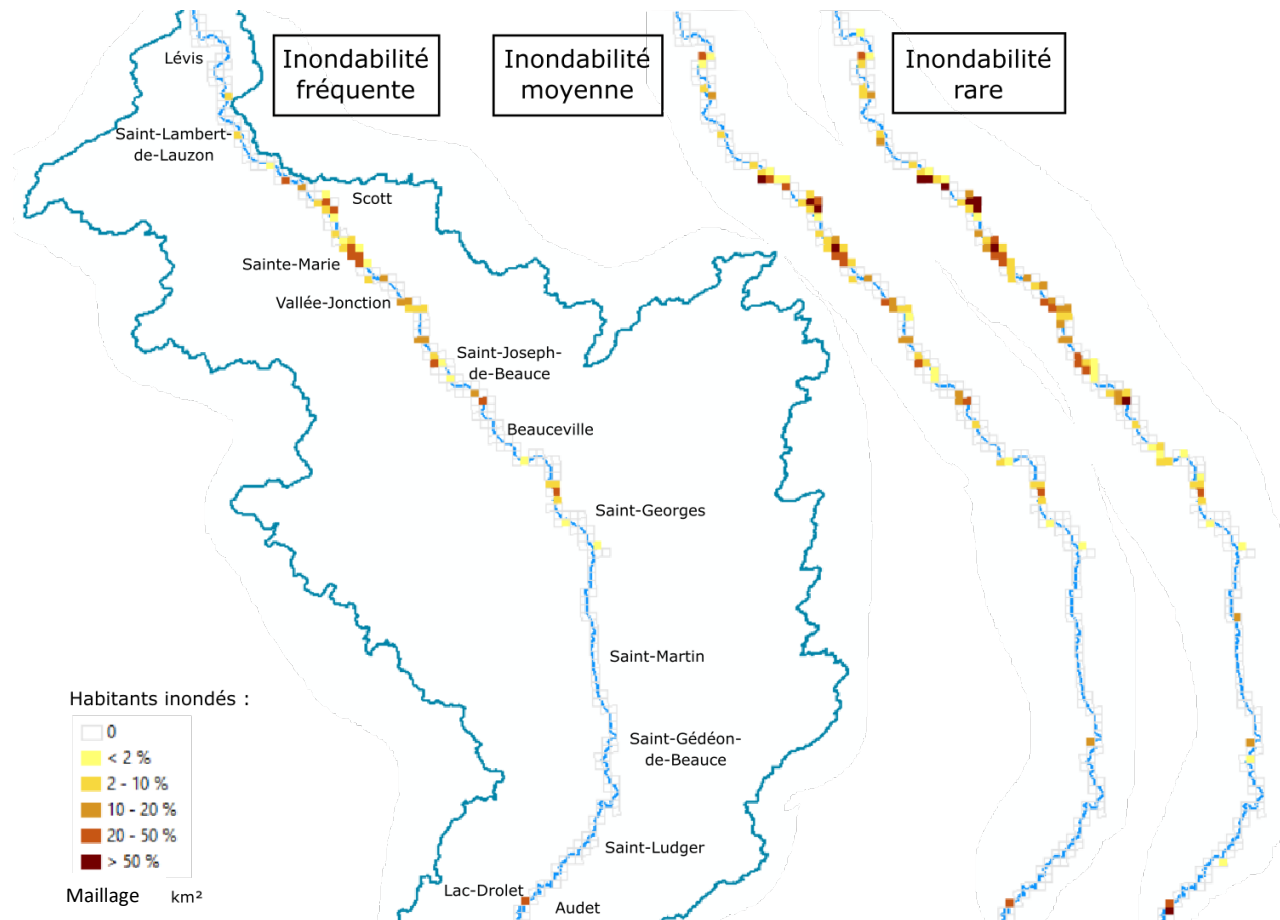
EPRI III: Éléments à produire

- Atlas géomatique sous forme de projet ArcMap « .mxd »
- Fichiers sous format tableur comprenant des tableaux croisés dynamiques
- Représentation pour 3 indicateurs (habitants, logements et linéaire de routes) exposés à trois espaces d'inondabilité (*fréquente, moyenne, rare*)
- Représentation selon 6 échelles de découpage spatial (*mailles homogènes, ilots de diffusion, aires de diffusion, municipalités, MRC et bassins versants*)

EPRI III: Éléments à produire

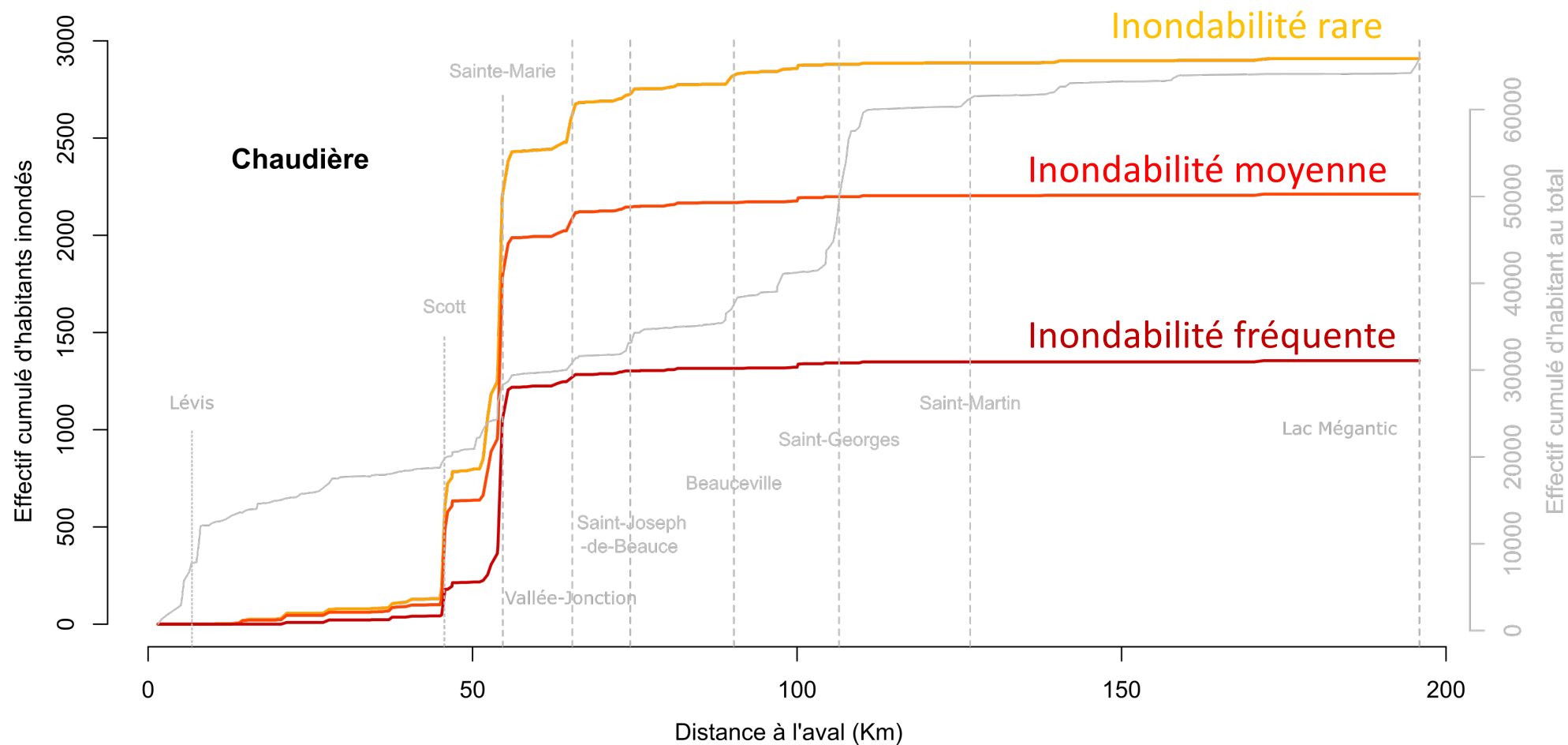
- Aux fins d'appropriation et d'utilisation, l'Atlas et les tableaux seront accompagnés:
 - Guide utilisateur
 - Métadonnées (norme ISO 19115)
 - Bases de données consolidées en format *shapefile* pour chaque découpage spatial

Découpage spatial = maillage de 1 km²



Pourcentage d'habitants inondés par la rivière Chaudière en crue, selon le débit et dans des cellules de 1 km² (résultats préliminaires)

« Linéarisation » des valeurs cumulées (résultats préliminaires)

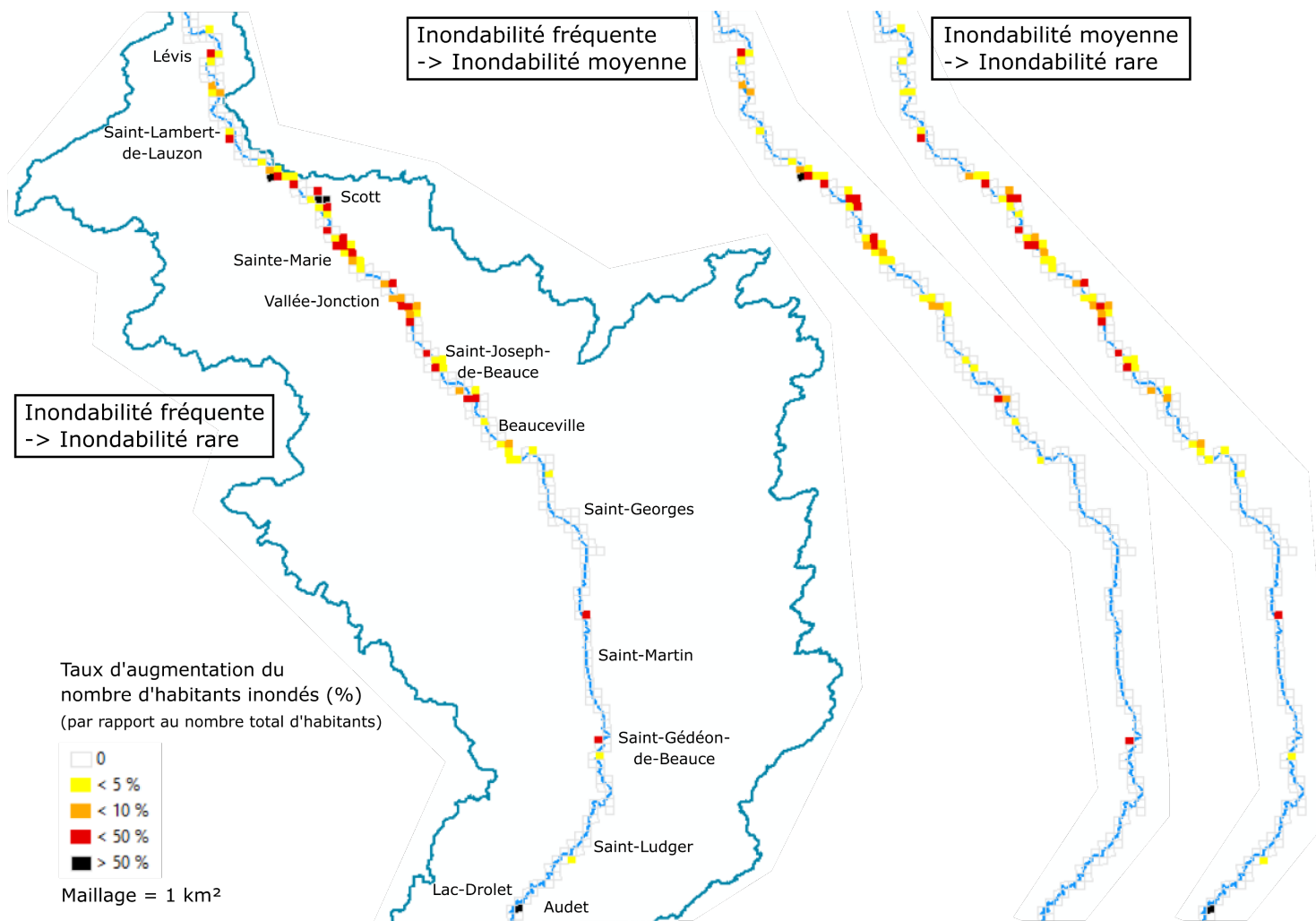


Taux d'augmentation

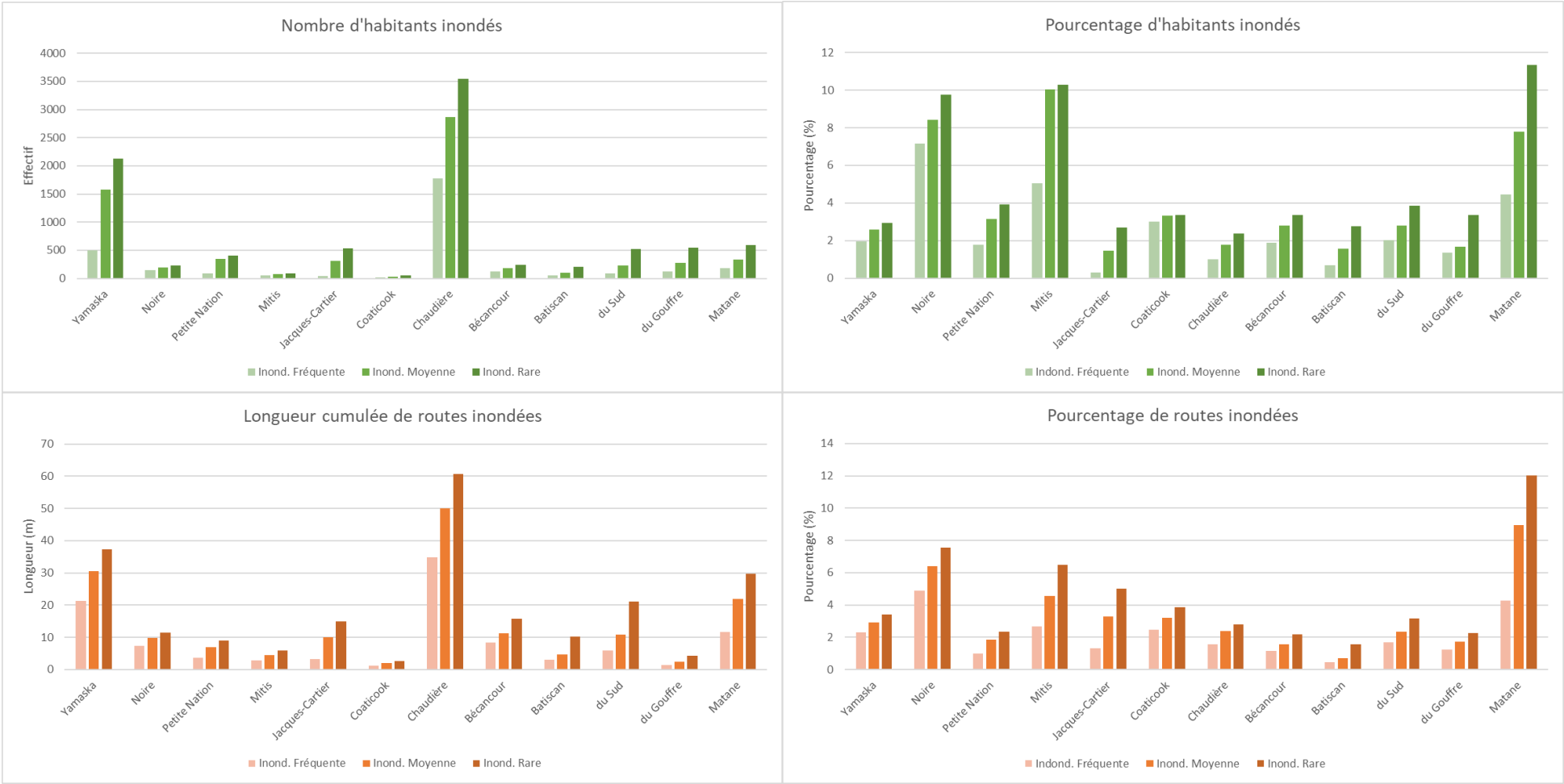
(résultats préliminaires) :

Augmentation du nombre d'habitants inondés par la rivière Chaudière en crue, selon l'évolution du débit et dans des cellules de 1 km²

Les % présentés sont relatifs au nombre total d'habitants présents dans chaque cellule.



Vers un portrait national du risque lié aux inondations



EPRI III : Tableaux dynamiques (résultats préliminaires)

Conclusions

- Modélisation large-échelle avec LiDAR permet une évaluation des espaces d'inondabilité (EI) plus précise que les EAIP des EPRI européennes, à faible coût en raison de l'absence de données de bathymétrie
- L'EPRI permet d'identifier les zones les plus à risque pouvant nécessiter une attention particulière mais aussi les types d'inondations exposant le plus de personnes et d'infrastructures sur le territoire du Québec
- L'EPRI permet d'orienter les axes de mobilisation pour la réduction du risque inondation